Aus der Abteilung für Phoniatrie und Audiologie
Kommissarischer Leiter: Professor Dr. D. Plester
der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten
der Universität Tübingen

Spektralanalyse von Vokalen

INAUGURAL—DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
Harald Jooß-Weiß, geb. Jooß
aus Urspring

1985

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546523_0017

Aus der Abteilung für Phoniatrie und Audiologie
Kommissarischer Leiter: Professor Dr. D. Plester
der Klinik für Hals-, Nasen- und Ohrenkrankheiten
der Universität Tübingen

Spektralanalyse von Vokalen

INAUGURAL—DISSERTATION
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der
MEDIZINISCHEN FAKULTÄT
(Klinische Medizin)
der Eberhard-Karls-Universität
Tübingen

vorgelegt von
Harald Jooß-Weiß, geb. Jooß
aus Urspring

1985

Dekan:	Professor Dr. H. D. Waller
1. Berichterstatter:	Professor Dr. D. Plester
2. Berichterstatter:	Professor Dr. E. Steinbach

---

gedruckt bei H.- J. Köhler · Reprografischer Betrieb · Tübingen

INHALTSVERZEICHNIS

		Seite
1.	Einleitung	
1.1.	Geschichtlicher Überblick	1
1.2.	Helmholtzsche Vokaltheorie	2
1.3.	Weiterentwicklung in der Vokaltheorie	3
1.4.	Allgemeines zur Stimmbildung	5
1.5.	Ziel dieser Arbeit	7
2.	Untersuchungsmethoden und Untersuchungsablauf	8
3.	Ergebnisse	
3.1.	Streuwerte und Lage der Formanten	9
3.2.	Vergleich der Vokale	26
3.3.	Unterscheidbarkeit der Vokale mit Hilfe des Rechners	40
4.	Diskussion	43
5.	Zusammenfassung	47
6.	Anhang	48
7.	Literaturverzeichnis	65

1. Einleitung

1.1. Geschichtlicher Überblick

Der Versuch, zu verstehen wie Stimme und Sprache entstehen, ist schon sehr alt.(Panconcelli-Calzia 1961, Malmberg 1976) Schon um das Jahr 2000 v. Chr. ist in einer ägyptischen Inschrift von Stottern ,Sprachfehlern und Stimmdefekten die Rede. Indische Grammatiker führten schon 400 v. Chr. ausführliche lautphysiologische Beschreibungen der Laute ihrer Sprache durch. Es wurde wohl schon bei den alten griechischen Philosophen als auch im Rom der Kaiserzeit erkannt, daß die Vokale mit Hilfe der Lippen und der Zunge zustandegekommene Klangmodifikationen der Stimmbänder sind. Als frühester Entdecker der Ventrikel gilt Galen, wenn sie auch nach Morgagni benannt sind.
Um das Jahr 1500 schuf Leonardo da Vinci Zeichnungen des Kehlkopfes, die verblüffend richtig sind.
Vor allem für spanische Taubstummenlehrer war zu Beginn der Neuzeit die Lautanalyse der einzige Weg für die Beschreibung der Lautbildung, um ihren Schülern eine artikulierte Sprache beizubringen.
Ein weiterer Schritt vorwärts in der Kenntnis der Sprachlaute wurde durch Wallis 1653 erbracht, der wahrscheinlich schon 200 Jahre vor Helmholtz das Prinzip für die sogenannte Resonanztheorie vor Augen hatte.Dodart 1703 erkannte die Abhängigkeit der Tonhöhe von den Bewegungen der Stimmbänder und entdeckte, daß die Trachea auf die Stimmbildung keinen Einfluß hat, sondern nur die Aufgabe, Luft von der Lunge zum Kehlkopf zu leiten.
Ferrein 1741 verglich die Stimmbänder mit schwingenden Körpern im gleichen Sinne wie Geigensaiten und führte damit ebenfalls zu Helmholtz.Er hat auch richtig erkannt, daß der Abstand zwischen Ringknorpel und Schildknorpel immer kleiner wird,wenn man in aufsteigender Tonhöhe singt.

Seit v. Kempelen 1791 ist die wesentliche Funktion des Ansatzrohres ,d.h. der Raum zwischen Stimmlippen und Mundlippen anerkannt.
Willis 1828 zeigte, daß man mit Hilfe von Zungenpfeifen und Resonatoren Vokalklänge nachahmen kann. Eine sehr moderne Vorstellung von der Entstehung der Vokale vertrat Wheatstone 1837 in einer Kritik von Willis Arbeit. Wheatstone definierte Vokalklänge unter anderem folgendermaßen:" Vokale werden von den Stimmbändern gebildet und von der Zunge und den Lippen modifiziert. Ihre Unterschiede rühren von den verschiedenen Positionen der Zunge zwischen den Lippen und der Mundhöhle her."Unter der Bezeichnung "multiple resonance" weist Wheatstone auf den Sachverhalt hin, daß der "cavity-tone" des Ansatzrohres durch einen Partialton des periodischen Phonationsschalls erregt werden kann. Auf dieser Erkenntnis baute dann Helmholtz seine Vokaltheorie auf.

1.2.Helmholtzsche Vokaltheorie

Mit Helmholtz 1862 erhielt man erstmals einen wissenschaftlich haltbaren und instrumentell unterbauten Ausgangspunkt.Die wesentlichen Elemente seiner Vokaltheorie gründen auf der Willis-Wheatstonschen Resonanztheorie und dem Fourierschen Satz,der besagt,daß jeder periodische Schallvorgang in eine Summe harmonischer Sinus- und Kosinusschwingungen zerlegt werden kann.Nach Helmholtz liegt der Ursprung der Vokalklänge in den Stimmbändern. Er nahm an, daß bei den Klängen des menschlichen Kehlkopfes die Obertöne mit steigender Höhe kontinuierlich abnehmen würden, wenn in der Mundhöhle keine Resonanzeffekte auftreten würden. Lage und Dämpfung der Eigenschwingung hängen ab von der Einstellung der Lippen, Zähne, Zunge und Anspannung der Mundmuskulatur.Die Tonhöhe stärkster Resonanz wird nur vom Vokal,nach dem man eingestellt hat,beeinflußt.In seiner Theorie wird das Ansatzrohr als ein System zweier gekoppelter Resonatoren aufgefaßt.

Seine Resonatoren baute er im Sinne der Fourierzerlegung auf, indem er aus sinuidalen Stimmgabelschwingungen ,durch einen Elektromagneten erregt und durch Resonatoren verstärkt, die Vokalklänge zusammensetzte.
Einen anderen Standpunkt vertrat Hermann 1890, 1895, 1911, der für die besonders verstärkten Partialtöne den Begriff Formant einführte. Bei ihm wird jeder Impuls des aus den Stimmlippen entweichenden Luftstroms in der Mundhöhle in eine Reihe schnell abklingender Eigenschwingungen versetzt, die immer wieder von Neuem angestoßen werden müssen. Bestehen die Vokale also bei Helmholtz aus harmonischen Teilschwingungen, so sind sie bei Hermann zum Grundton nicht harmonisch. Nach Trendelenburg 1935 besteht allerdings kein prinzipieller Gegensatz zwischen beiden Theorien, sondern die Hermannsche Theorie ist nur ein Spezialfall der Helmholtzschen.

1.3. Weiterentwicklung in der Vokaltheorie

Nachdem Helmholtz die Vokaltheorie auf eine wissenschaftliche Grundlage gestellt hatte, folgte eine Vielzahl von Arbeiten mit dem Ziel , die Vokalspektren zu analysieren. Als Autor einer dieser Arbeiten sei Freystedt 1935 herausgegriffen. Er entwickelte ein Tonfrequenzspektrometer mit 27 elektrischen Filtern, die jeweils nur den Bereich von einer Dritteloktave durchlassen. Dies war mit einer Umlaufautomatik und einer Braunschen Röhre gekoppelt,so daß die senkrechte Auslenkung der jeweiligen Stärke der Komponenten in den einzelnen Frequenzbereichen entsprach.
In Abb.1 sind die Spektren für die Vokale a, e, i, o, u, ä, ö, ü dargestellt.

Dies gibt für die einzelnen Formantbereiche folgende Werte:

A	800-1200 Hz
E	400- 600 Hz und 2200-2600 Hz
I	200- 400 Hz und 3000-3500 Hz
O	400- 600 Hz
U	200- 400 Hz
Ä	650-1000 Hz und 1850-2300 Hz
Ö	320- 850 Hz und 1300-1800 Hz
Ü	300- 700 Hz und 1800-2500 Hz

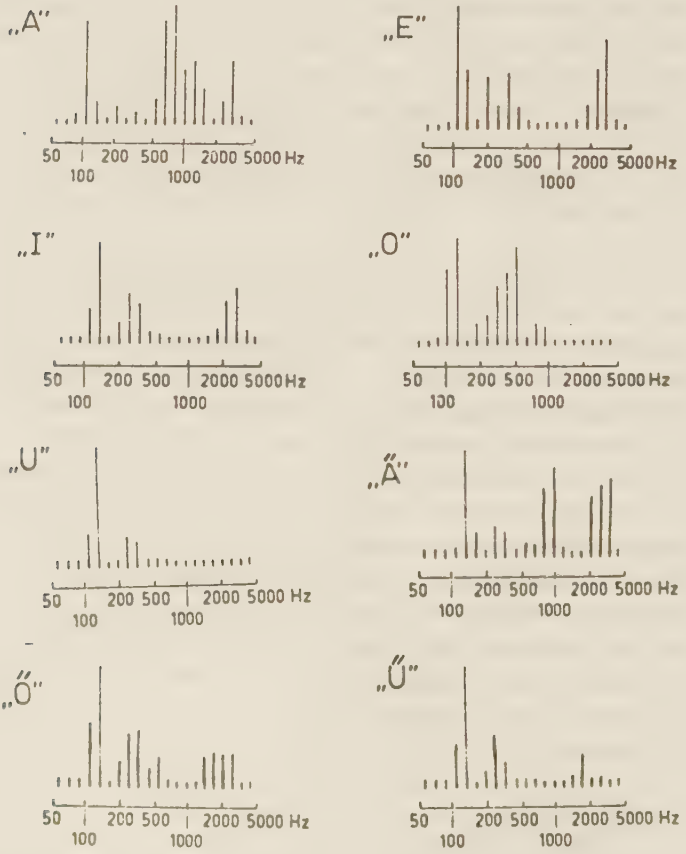

Abb.1 aus Trendelenburg 1950, nach Freystedt

Chiba 1941 teilte das Ansatzrohr in mehrere Abschnitte auf und maß diese mit Hilfe von Röntgenbildern und Palatogrammen aus. Ebenfalls berechnete er die dazugehörigen Resonanzfrequenzen. Er benutzte hierzu die Webstersche Horngleichung.
Potter 1947 von den Bell Telephon Laboratories entwickelte den direkten Translator mit 12 Filtern, wobei jeder Filter ein 300 Hz-Band besaß.
Das umfassenste Werk ist wohl von Fant 1958 geschaffen worden. Die akustischen Prozesse der Vokalartikulation wurden einer mathematischen Beschreibung dadurch zugänglich gemacht, indem die Form des Ansatzrohres durch einfache Rohrstücke approximiert wird und mit Modellen aus der elektrischen Vierpoltheorie beschrieben wird.
Des weiteren soll noch auf Ungeheuer 1962, der das Ansatzrohr in seiner ganzen Gestalt mit Hilfe der Horngleichung beschrieb ,sowie auf Flanagan 1972, der insbesondere automatische Frequenzanalysen mit Digitalrechnern beschrieben hat, hingewiesen werden.

1.4. Allgemeines zur Stimmbildung

Auf anatomische Grundlagen wie Bau, Struktur und Innervation des Kehlkopfes und der Mundhöhle soll an dieser Stelle nicht eingegangen werden. Der Stimmumfang und die Stimmlage entwickeln sich aus der Stimme des Kindes erst im Laufe des Wachstums.
Der Kehlkopf wächst besonders stark in der Zeit der Pubertät.In dieser Zeit nimmt die Länge der Stimmlippen um fast 10 mm ,das heißt um mehr als 50% beim männlichen Geschlecht zu,beim weiblichen Geschlecht um 3-4 mm. Dadurch wird beim Mann die Stimme um eine Oktave, bei der Frau um eine Terz tiefer. Der Stimmumfang beträgt im Durchschnitt zwei Oktaven. Bei geübten Sängern kann er drei Oktaven erreichen. (Lullies 1972)

Die Energie für die Erzeugung der Sprachlaute wird von den Lungen erbracht. Die Strömungsenergie wird an den Stimmbändern nach Art einer Polsterpfeife in Schwingungen übergeführt. Auch die Lippen können als Polsterpfeife schwingen. Bei den stimmhaften Vokalen a, e, i, o, u,ä, ö, ü ist die Stimmbandschwingung die einzige primäre Schallquelle.Sie nehmen eine besondere Stellung ein, sie sind die eigentlichen Träger der Sprache. Der von den Stimmbändern herrührende Klang erfährt in den Hohlräumen des Ansatzrohres durch Resonanzeffekte die für den betreffenden Vokal typische Klangverteilung. Entscheidend ist hierbei die Einstellung des Ansatzrohres. (Trendelenburg 1935, Lenneberg 1967)
Die verschiedenen Formen des Ansatzrohres bei der Vokalartikulation siehe Abb. 2.

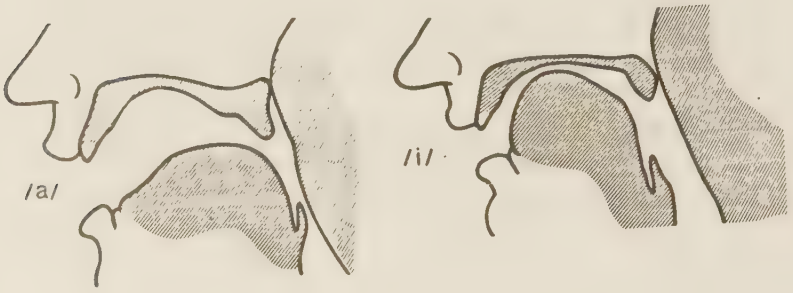

Abb. 2 aus Schmidt 1977 nach Wängler 1958

Die Vokale zu systematisieren ,versuchte Hellwag 1781 mit dem Vokaldreieck,Abb.3.Dabei ging er vom Vokal a aus, bei dem der Mund weit offen und die Zunge tief gehalten wird.Die Reihe a,ä, e,i wird gesprochen, indem sich die Zungenwurzel hebt. Die Reihe a, å, o, u wird gebildet,indem die Lippen verändert werden.Bei den Vokalen ö, ü werden Zunge und Lippen gleichermaßen bewegt.

Modernere Formen sind das API System und das System von Delattre 1948, der für seine Einteilung nur die Formantfrequenzen benutzte.

Abb.3: Das Vokaldreieck von Hellwag aus G. Ungeheuer 1962

1.5. Ziel dieser Arbeit

In dieser Arbeit sollen die Vokale a, e, i, o, u, ä, ö, ü mittels digitaler Rechentechnik untersucht werden. Die Fragestellung hierbei ist:

Erstens: Die Streuung der Vokale in verschiedenen Alters- und Geschlechtsgruppen, das heißt welcher Vokal wird am besten bzw. schlechtesten artikuliert, und welche Gruppe artikuliert am besten bzw. am schlechtesten.

Zweitens: Die Lage der Formanten bei den einzelnen Vokalen und Gruppen

Drittens: Bei welchen Vokalen ist die Möglichkeit, mit anderen verwechselt zu werden, groß bzw. klein.

2. Untersuchungsmethoden und Untersuchungsablauf

120 Probanden, die in sechs verschiedene Gruppen eingeteilt wurden, kamen zur Auswertung. In den Altersgruppen 9-12 Jahre, 18-50 Jahre und über 50 Jahre wurden jeweils 20 männliche und 20 weibliche Personen untersucht.

Aufnahme und Analyse der Vokale a, e, i, o, u, ä, ö, ü erfolgte in der Weise, daß zunächst die Probanden die Laute in ihrer jeweils eigenen Stimmlage etwa 0,5 bis 2 Sekunden lang artikulierten. Die Aufnahme erfolgte mit einem Kasettenrekorder der Marke ITT Recorder 87 und dem Mikrophon Beyer M 81. Der Frequenzgang des Rekorders war zwischen 100 und 8000 Hz innerhalb $\pm$ 3 dB linear. Die Analyse der Laute wurde mit Hilfe eines Prozessrechners (Intertechnique Plurimat S) vorgenommen. Die Frequenzanalyse erfolgte über die schnelle Fourier- Transformation (FFT).

Die obere Grenzfrequenz betrug hierbei 6,2 kHz. Die Frequenzskala wurde dabei in 256 Filterabschnitte von je 24 Hz aufgeteilt. Weil die Kasettenaufnahmen mit unterschiedlicher Aussteuerung aufgenommen waren, wurden die Signale beim Überspielen auf den Rechner zur Vereinheitlichung auf die gleichen Effektivwerte normiert.Die einzelnen Gruppen wurden rechnerisch zu Mittelwerten zusammengefaßt. Die graphische Ausgabe der Frequenzspektren erfolgte im log.-Maßstab in dB.

3. Ergebnisse

3.1. Streuwerte und Lage der Formanten

In diesem Abschnitt sollen die Streuungen bei den einzelnen Gruppen betrachtet und die Lage der Formanten untersucht werden. Hierbei war die Fragestellung, wie die einzelnen Gruppen artikulieren und wie einzelne Vokale artikuliert werden. Zur Untersuchung der Lage der Formanten wurden zum direkten Vergleich die Ergebnisse von Fant 1958,1975 herangezogen.

Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:

Aus den Graphen der einzelnen Gruppen wurde für jeden Vokal eine Hüllkurve gebildet, das heißt alle Streuwerte liegen innerhalb dieser.Die schwarz unterlegten Flächen der einzelnen Abbildungen zeigen die Streubereiche der einzelnen Versuchsgruppen an. Diese wurden nach dem Alter der Probanden aufgeteilt. Als Schlüssel gilt

Gruppe 0 9-12 Jahre N = 40
Gruppe 1 18-50 Jahre N = 40
Gruppe 2 ab 50 Jahre N = 40

Die Lage der Formanten wurde durch F1 , F2, F3, F4 festgelegt wobei für die ersten beiden Formanten eine Bandbreite von 100 Hz und für die nächst höheren Formanten eine Bandbreite von 200 Hz gestattet sein soll. (Fant 1958)

Vokal a

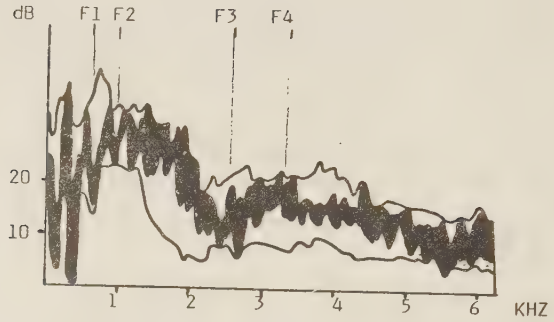

Abb.3 Gruppe 0

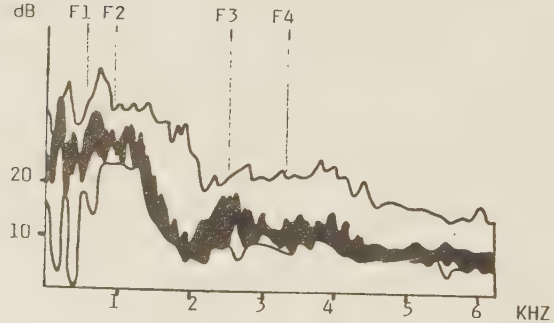

Abb. 4 Gruppe 1

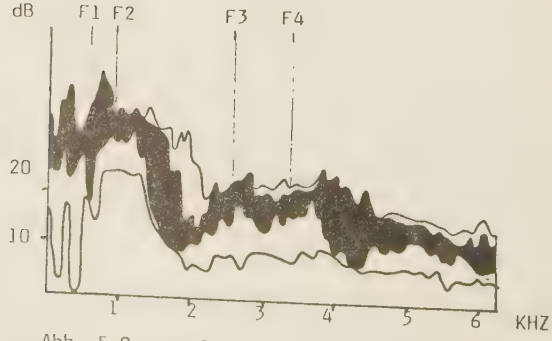

Abb. 5 Gruppe 2

3.1.1. Ergebnis Vokal a

Streuungen

Hier streuen insbesondere die Gruppen 0 und 2, und zwar 0 im Bereich bis 2700 Hz und ab 5000 Hz und Gruppe 2 im Bereich von 1000 bis etwa 2000 Hz und von 3700 bis 4500 Hz. Die Streuung der Gruppe 1 ist verhältnismäßig gering.

Lage der Formanten (nach Fant)

F1	530 - 630 Hz
F2	890 - 990 Hz
F3	2380 -2580 Hz
F4	3190 -3390 Hz

Bei den Ergebnissen meiner Untersuchung zeigte sich, daß die Lage für F1 und F2 gut mit Fant korrelierten, während von F3 und F4 keine genauen Aussagen zu machen sind, außer für F3 von Gruppe 1.

Vokal é

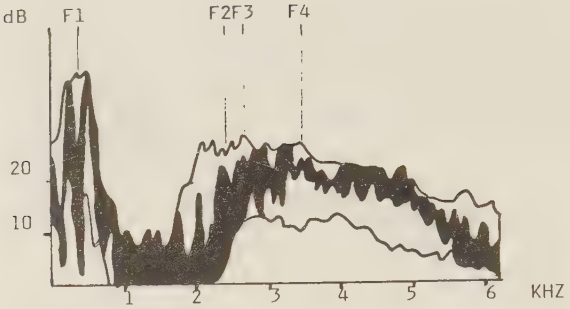

Abb.6 Gruppe 0

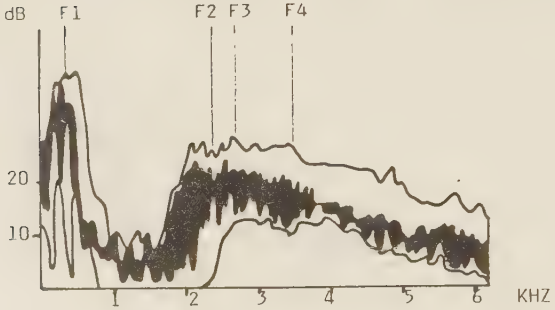

Abb. 7 Gruppe 1

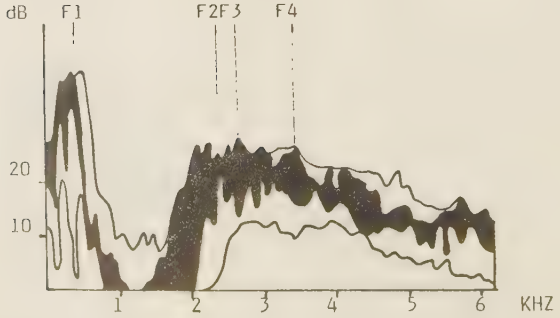

Abb. 8 Gruppe 2

3.1.2. Ergebnis Vokal e

Streuungen

Hier streuen alle Gruppen und zwar Gruppe 0 besonders zwischen 900 und 3000 Hz ,Gruppe 1 zwischen 1500 und 2500 Hz, Gruppe 2 zwischen 1200 und 2500 Hz.

Lage der Formanten(nach Fant)

F1	370 - 470 Hz
F2	1910 -2010 Hz
F3	2650 -2850 Hz
F4	3300 -3500 Hz

Hier korrelieren die Ergebnisse von Fant gut für F1 mit meiner Untersuchung, während F2, F3, F4 nur in der Gruppe 2 mit meinen Ergebnissen übereinstimmt.

Vokal i

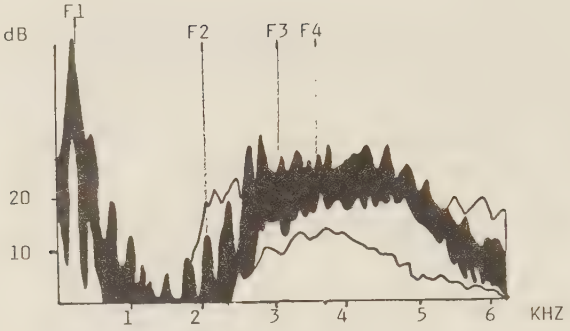

Abb. 9 Gruppe 0

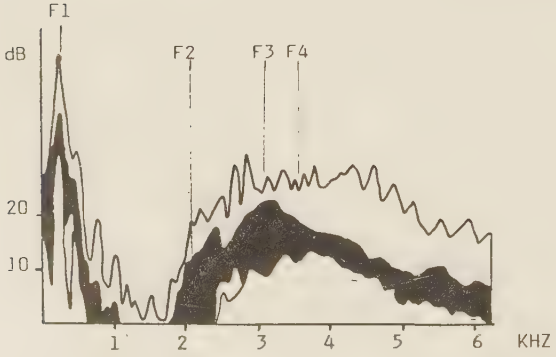

Abb. 10 Gruppe 1

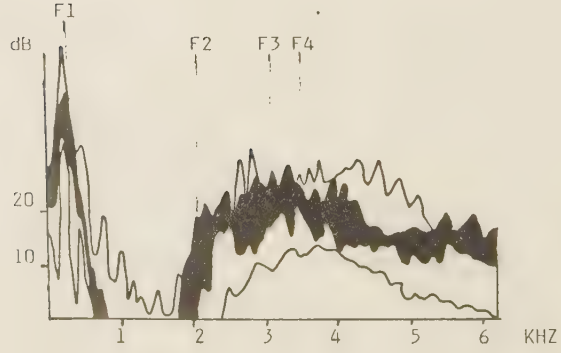

Abb. 11 Gruppe 2

3.1.3. Ergebnis Vokal i

Streuungen

Hier streut insbesondere die Gruppe O, auffallend hier ist die Streuung im Gegensatz zu den anderen Gruppen zwischen 1000 und 2000 Hz. Die anderen Gruppen streuen in einem engen Bereich zwischen 2000 und 3500 Hz.

Lage der Formanten (nach Fant)

F1	205 - 305	Hz
F2	2015 -3015	Hz
F3	2860 -3060	Hz
F4	3300 -3500	Hz

Hier korrelieren die Formanten F1 ,F2, F3 gut mit Fant, während sich für F4 nur eingeschränkt eine Aussage machen läßt. Dies kann unter anderem daher kommen, daß F3 und F4 in ihrem Frequenzbereich relativ eng nebeneinander liegen, andererseits ist es auch möglich, daß F4 bei den Gruppen O und 2 doch in den höheren Frequenzbereich verschoben ist.

Vokal o

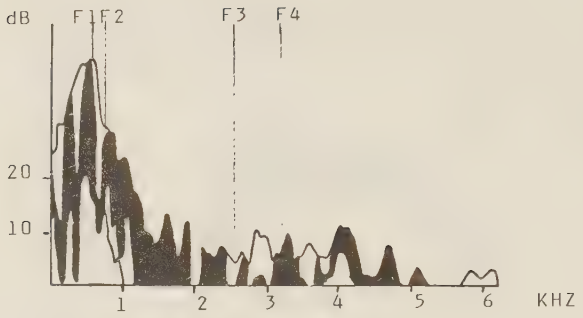

Abb. 12 Gruppe 0

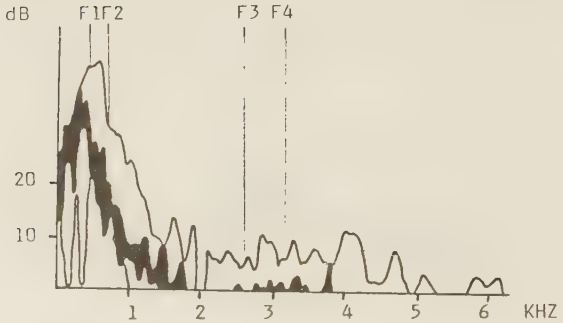

Abb. 13 Gruppe 1

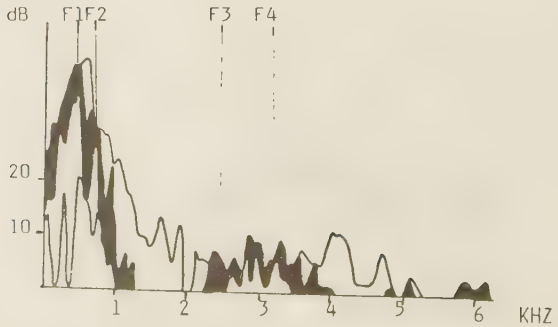

Abb. 14 Gruppe 2

3.1.4. Ergebnis Vokal o

Streuungen

Stärkere Streuungen auch hier bei Gruppe 0 zwischen 300 und 2000 Hz und geringere im Vergleich zu anderen Gruppen zwischen 2000 und 5000 Hz, die geringste Streuung hier bei Gruppe 1.

Lage der Formanten (nach Fant)

F1	350 - 450	Hz
F2	660 - 760	Hz
F3	2400 -2600	Hz
F4	3050 -3250	Hz

Hier ist wieder eine gute Korrelation mit Fant festzustellen, wenn auch F1 und F2 in einem engen Frequenzbereich dargestellt sind.Für F3 und F4 lassen sich bei allen Gruppen keine Aussagen machen.

Vokal u

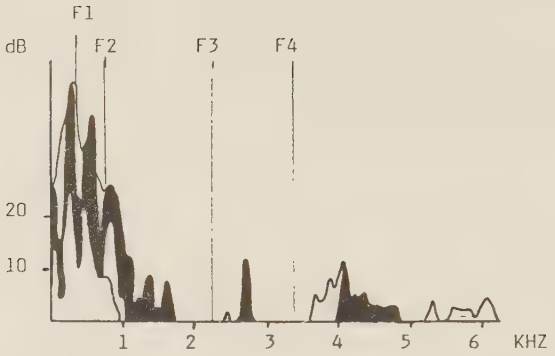

Abb. 15 Gruppe 0

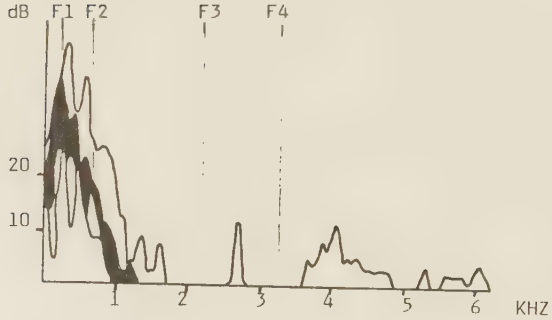

Abb. 16 Gruppe 1

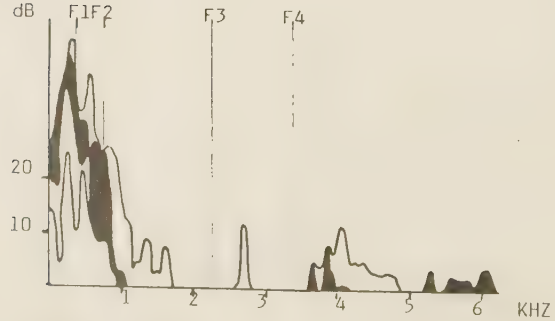

Abb. 17 Gruppe 2

3.1.5. Ergebnis Vokal u

Streuungen

Auffällige Streuungen hat dieser Vokal nur bis ca. 1800 Hz. Dies am stärksten bei der Gruppe 0, sehr gering bei den Gruppen 1 und 2.Die Streuungen in den übrigen Bereichen sind unbedeutend.

Lage der Formanten (nach Fant)

F1	260 - 360	Hz
F2	680 - 780	Hz
F3	2150 -2350	Hz
F4	3200 -3400	Hz

Hier stimmen die Formanten F1 und F2 wiederum mit Fant überein, während die Formanten F3 und F4 bei dieser Methode nicht erscheinen.

Vokal ä

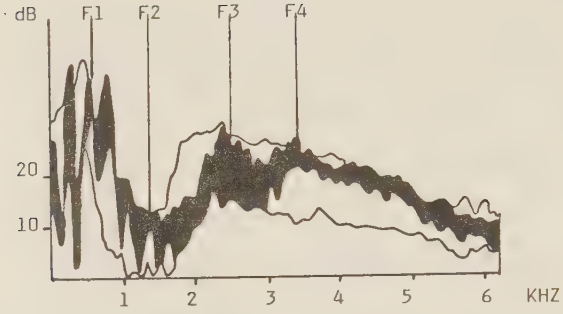

Abb. 18 Gruppe 0

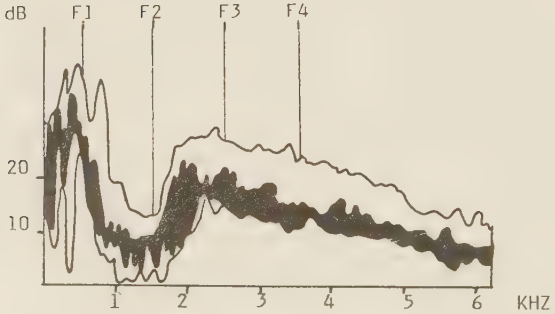

Abb. 19 Gruppe 1

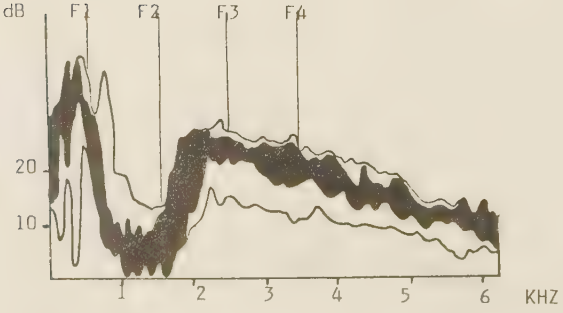

Abb.20 Gruppe 2

3.1.6. Ergebnis Vokal ä

Streuungen

Stärkere Streuung der Gruppe 0 zwischen 1700 und 2700 Hz und bei Gruppe 2 zwischen 1000 und 2000 Hz, geringere bei Gruppe 1 zwischen 1500 und 2000 Hz.

Lage der Formanten(nach Fant)

F1 555 - 655 Hz
F2 1500 -1600 Hz
F3 2350 -2550 Hz
F4 3300 -3500 Hz

Hier korreliert vor allem F1 bei allen Gruppen mit Fant, für F2 läßt sich generell keine Aussage machen, für F3 nur bei Gruppe 0 und für F4 nur bei Gruppe 2.

Vokal ö

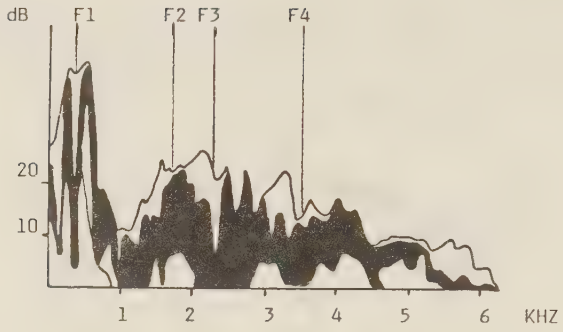

Abb. 21 Gruppe 0

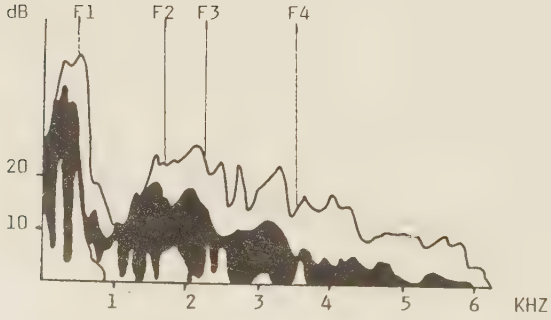

Abb. 22 Gruppe 1

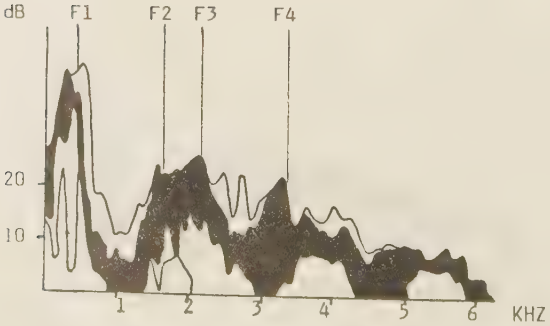

Abb. 23 Gruppe 2

3.1.7. Ergebnis Vokal ö

Streuungen

Stärkere Streuungen der Gruppen 0 und 2 von 1000-5000 Hz sind bei diesem Vokal auffällig, weniger stark sind diese bei der Gruppe 1 im Freuqenzbereich von 1000 bis 4000 Hz.

Lage der Formanten (nach Fant)

F1	310 - 410 Hz
F2	1640 -1740 Hz
F3	2100 -2300 Hz
F4	3290 -3490 Hz

Eine gute Korrelation läßt sich für F1,F2, F3, F4 bei den Gruppen 1 und 2 mit Fant erkennen, während dies nur für F1 und F2 bei der Gruppe 0 gilt.

Vokal ü

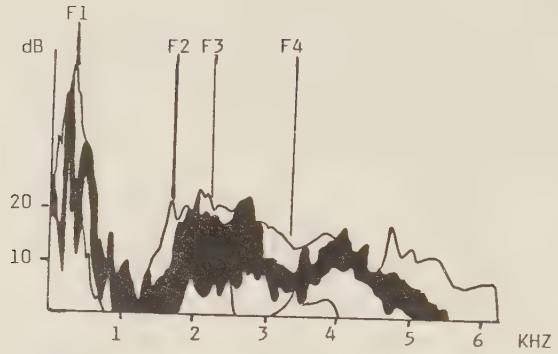

Abb. 24 Gruppe 0

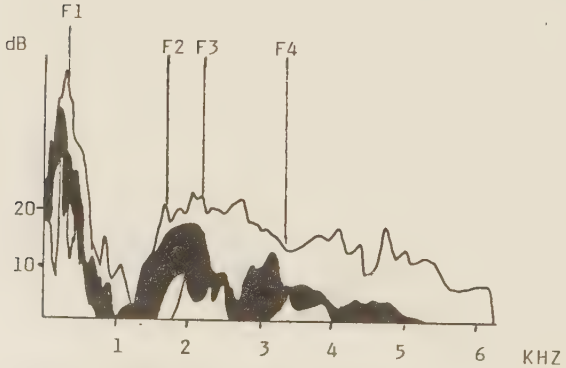

Abb. 25 Gruppe 1

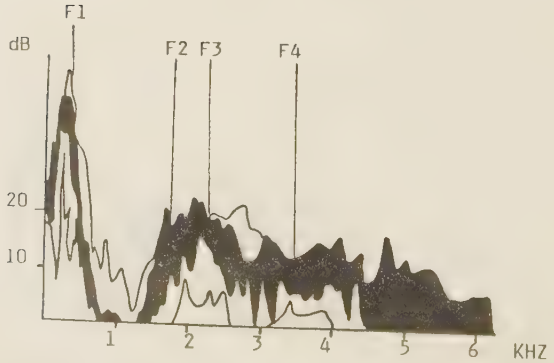

Abb. 26 Gruppe 2

3.1.8. Ergebnis Vokal ü

Streuungen

Die geringste Streuung weist hier Gruppe 1 auf, dies im Frequenzbereich zwischen 1300 und 3200 Hz, stark streut die Gruppe 0 zwischen 1200 und 2800 Hz, besonders auffällig ist die Streuung der Gruppe 2 bei 4500 bis 6200 Hz.

Lage der Formanten (nach Fant)

F1	230 - 330	Hz
F2	1580 -1680	Hz
F3	2040 -2240	Hz
F4	3210 -3410	Hz

Mit den Ergebnissen von Fant stimmen wieder die Formanten F1 und F2 überein, F3 gilt in diesem Frequenzbereich nur für die Gruppen 1 und 2 F4 mit Einschränkung nur für die Gruppen 0 und 1.

3.1.9 Zusammenfassung

Es zeigte sich, daß durchweg die Gruppe 0 am schlechtesten artikulierte , gefolgt von der Gruppe 2 . Am besten artikulierte die Gruppe 1. Bei den Vokalen wurde a, o,u,ä am besten artikuliert. Zur Lage der Formanten ergab sich ,daß sich F1, F2 relativ gut mit den Literaturergebnissen decken, F3 und F4 aber meist nicht mehr eindeutig zu bestimmen sind.

3.2. Vergleich der Vokale

In diesem Abschnitt sollen die einzelnen Vokale miteinander verglichen werden. Um graphisch darzustellen wieviel Gemeinsamkeiten die einzelnen Vokale miteinander haben, wurde die gemeinsame Fläche ihrer Hüllkurven aufgezeichnet.Als Maß für ihre Gemeinsamkeit oder ihre Verschiedenheit soll die Größe der gemeinsamen Fläche gelten, wobei aber nicht von der Größe der Absolutfläche ausgegangen wird, sondern immer bezogen auf die Größe der einzelnen Flächen.

Ferner wurden die Differenzen der einzelnen Frequenzspektren berechnet. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:Der Bereich unter 700 Hz ist als Grundtonbereich von geringer Bedeutung für die Unterschiede von Vokalen. Er wurde daher bei der Betrachtung außer Acht gelassen.Der Bereich von 770-6200 Hz wurde entsprechend dem Frequenzgruppenschema in 12 Frequenzgruppenbandpässe eingeteilt, von 770- 920, 920 -1070, 1070 -1280, 1280 -1520, 1520 -1800, 1800- 2120, 2120 -2500, 2500 -2950, 2950 -3500, 3500 -4200, 4200 -5100, 5100- 6200 wobei die Dimension jeweils Hz ist.

Beim Vergleich der einzelnen Vokale wurde der Absolutbetrag der Differenzen der linearen Amplitutenwerte in den einzelnen Frequenzgruppen addiert. Deren Summe ergab ein Maß für Ähnlichkeit bzw. Verschiedenheit der Vokale. Es wurden immer zwei Vokale direkt miteinander verglichen.

Und zwar: 1) a mit e, i, o, u, ä, ö, ü
2) e mit i, o, u, ä, ö, ü,
3) i mit o, u, ä, ö, ü
4) o mit u, ä, ö, ü
5) u mit ä, ö, ü
6) ä mit ö, ü
7) ö mit ü

Vergleich Vokal a

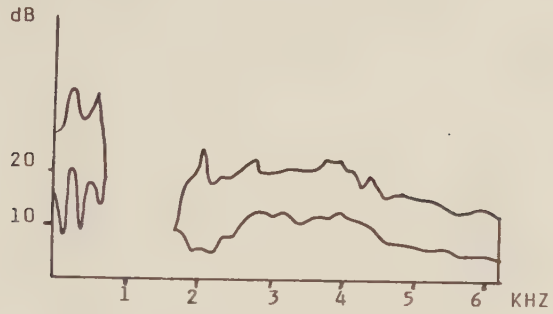

Abb. 27 Vergleich a mit e

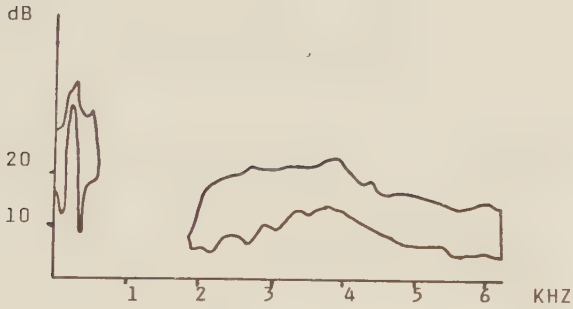

Abb. 28 Vergleich a mit i

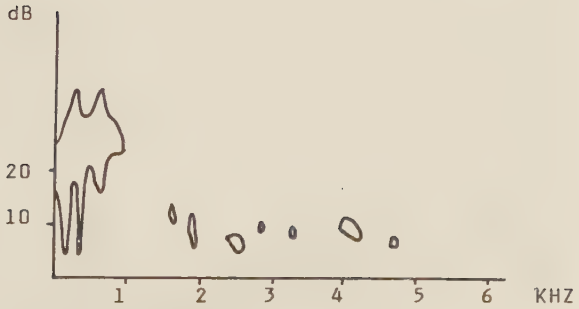

Abb. 29 Vergleich a mit o

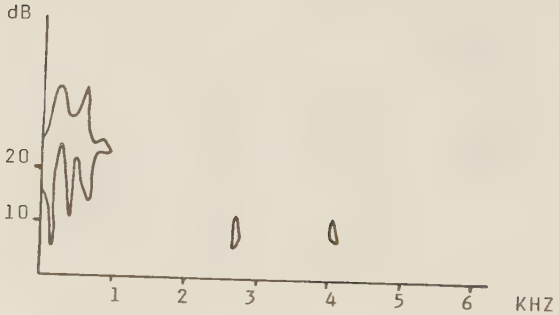

Abb. 30 Vergleich a mit u

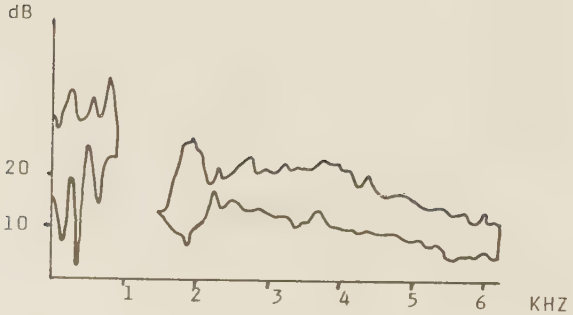

Abb. 31 Vergleich a mit ä

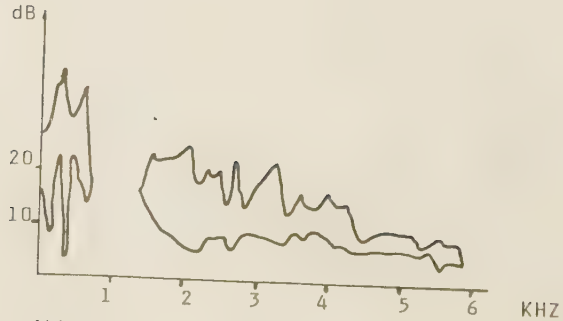

Abb. 32 Vergleich a mit ö

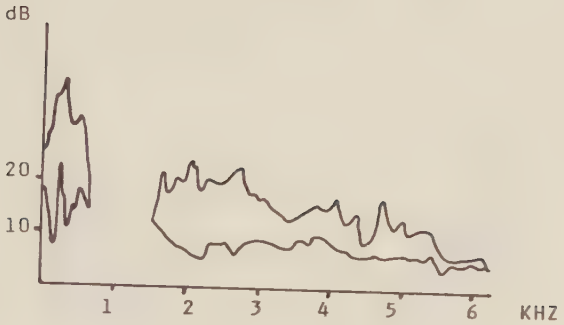

Abb. 33 Vergleich a mit ü

3.2.1 Ergebnis, Vergleich Vokal a

Zur Gruppeneinteilung siehe Anhang

Vokal a hat vor allem mit e, i, ä, ö, ü große zusammenhängende Flächen, die sich über den Bereich von ca. 1500 - 6200 Hz ausdehnen. Gemeinsam ist allen ein Bereich von ca. 600 - 1500 Hz, an dem sie keine Punkte gemeinsam haben. Anders Vokal o, hier erscheinen zwischen 1500-5000 Hz kleine Flächen. Dies rührt hauptsächlich daher, daß die Gruppe O des Vokals o übermäßig streut und zwar inbesondere in Gruppe 300. Siehe Anhang Abb. A 3a.

Die beiden Flächen von u bei 2500 Hz und 4000 Hz kommen durch stärkere Streuung der Gruppe 400 zustande siehe Abb. A 4a.

Die Vokale e, i, ä, ü können insbesondere in den Frequenzen 600 und 1500 Hz unterschieden werden, während o und u zwischen 1000 und 6000 Hz unterschieden werden können.

Vergleich Vokal e

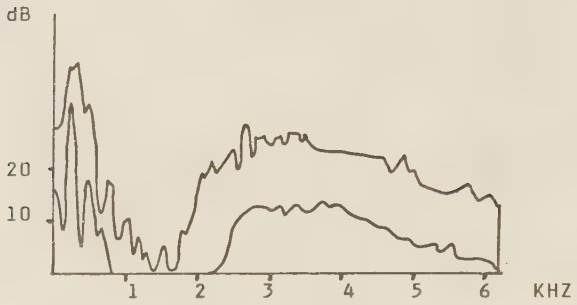

Abb. 34 Vergleich e mit i

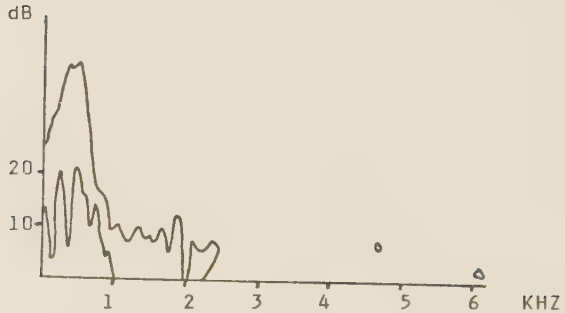

Abb. 35 Vergleich e mit o

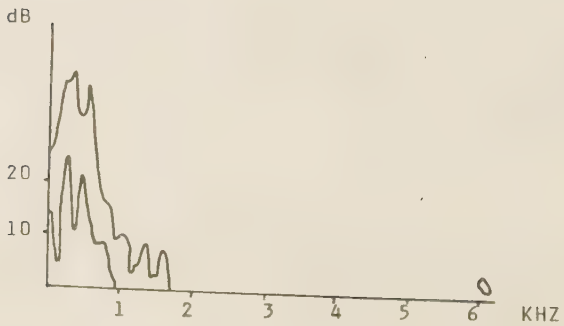

Abb. 36 Vergleich e mit u

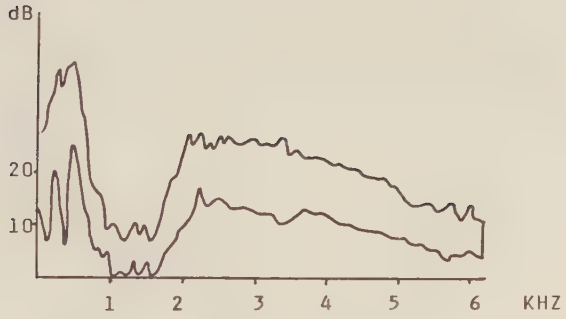

Abb. 37 Vergleich e mit ä

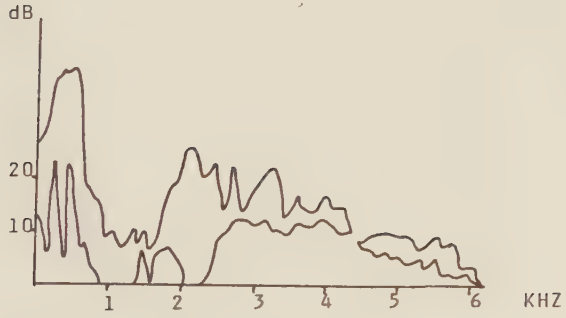

Abb. 38 Vergleich e mit ö

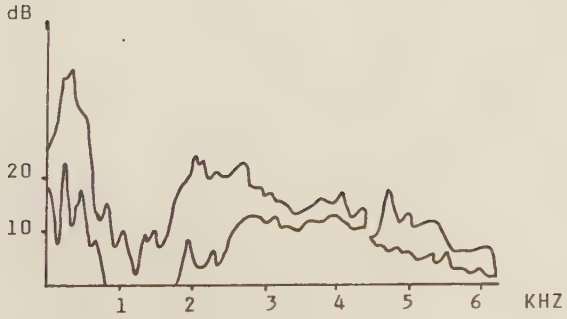

Abb. 39 Vergleich e mit ü

3.2.2. Ergebnis, Vergleich Vokal e

Vokal e hat mit i, ä, ö, ü mit Ausnahme von zwei kleinen Bereichen große zusammenhängende Flächen, nur bei o und u sind die Bereiche von etwa 2000-6000 Hz ausgenommen. Dies zeigt, daß e mit allen Vokalen außer o und u leicht verwechselt werden kann.

Vergleich Vokal i

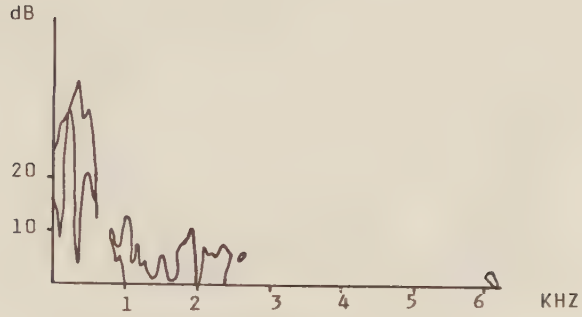

Abb. 40 Vergleich i mit o

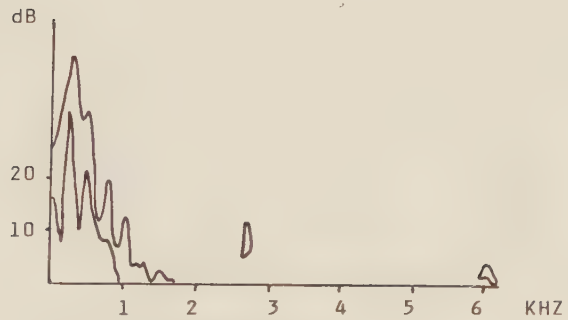

Abb. 41 Vergleich i mit u

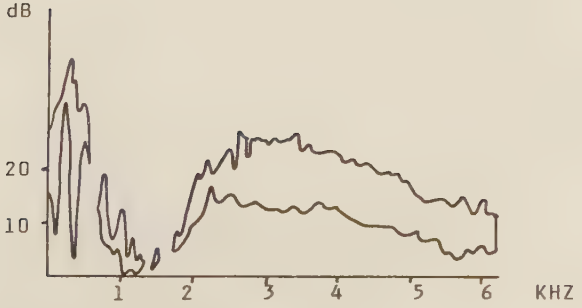

Abb. 42 Vergleich i mit ä

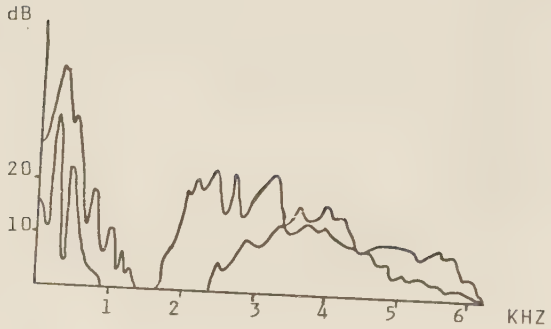

Abb. 43 Vergleich i mit ö

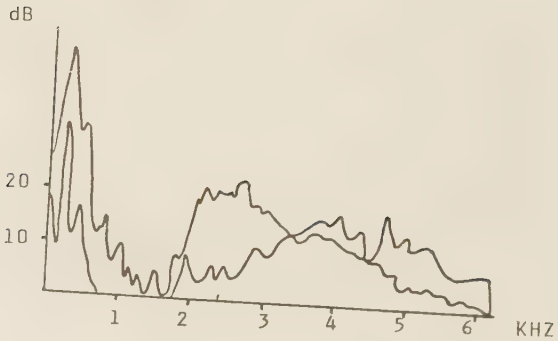

Abb. 44 Vergleich i mit ü

3.2.3. Ergebnis, Vergleich Vokal i

Vokal i hat mit ä ,ö, ü große , fast vollständig zusammenhängende Flächen über den gesamten Frequenzbereich. Beim Vergleich mit o ist die gemeinsame Fläche zwischen 800 und 2400 Hz auffällig. Dies rührt daher, daß an dieser Stelle die Gruppe 200 von i Abb A 2a und die Gruppe 300 von o Abb. A 3a besonders stark streut.Vokal u ist bis auf Flächen bei 2500 Hz die von Gruppe 400 von u Abb. A 4a herrührt und bei 6000 Hz , die von Gruppe 402 Abb. A4e kommt, frei von gemeinsamen Schnittpunkten.

Vergleich Vokal o

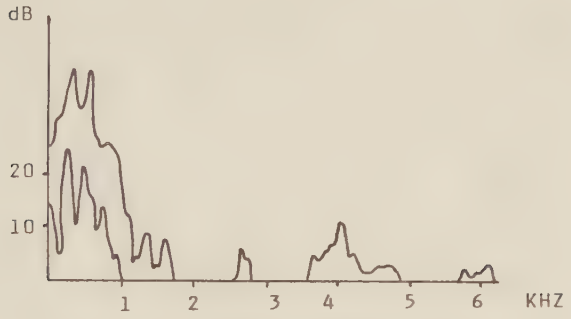

Abb. 45 Vergleich o mit u

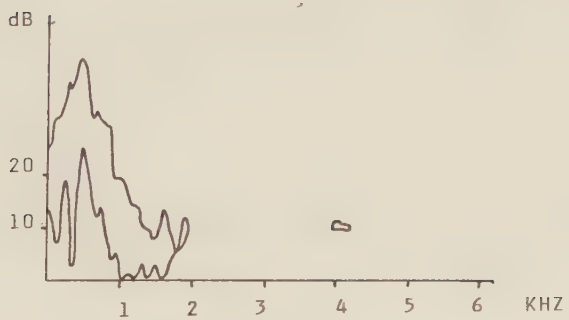

Abb. 46 Vergleich o mit ä

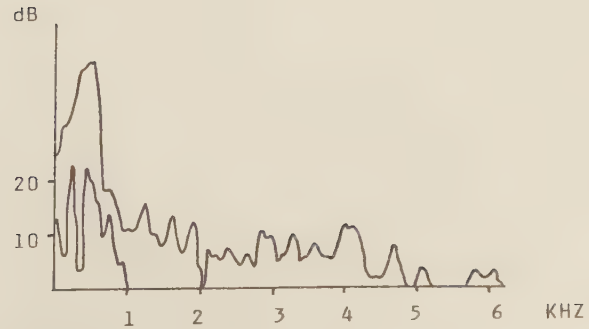

Abb. 47 Vergleich o mit ö

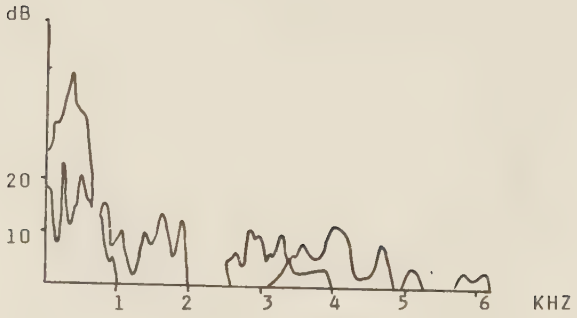

Abb. 48 Vergleich o mit ü

3.2.4. Ergebnis Vokal o

Beim Betrachten von Abb. 45 hat o mit u nur scheinbar wenig gemeinsame Fläche. Da wir aber nicht von Absolutzahlen ausgehen, sondern die Fläche der Vokale einzeln betrachten, ist diese doch beträchtlich groß, vor allem im Bereich von 1000 bis 1800 Hz und von 3500 bis 4900 Hz. Vokal ä hat praktisch ab 2000 Hz keine Schnittpunkte mehr mit o, bei ö und ü werden fast durchgehende Flächen beobachtet.

Vergleich Vokal u

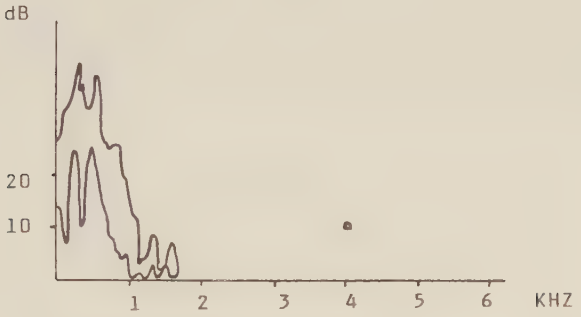

Abb. 49 Vergleich u mit ä

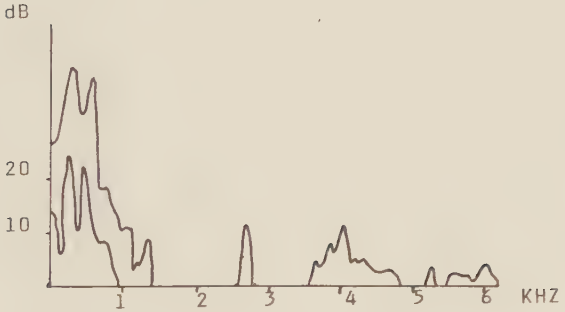

Abb. 50 Vergleich u mit ö

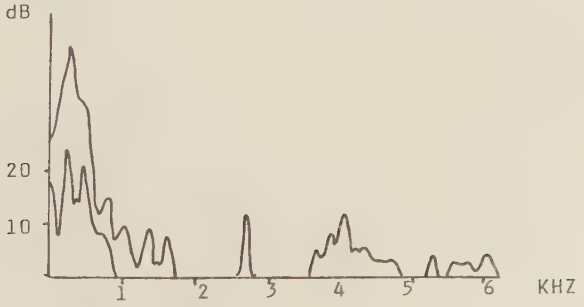

Abb. 51 Vergleich u mit ü

3.2.5. Ergebnis Vokal u

Sicher kann u nur von ä unterschieden werden. Dies ab dem Frequenzbereich von ca. 1800 Hz. Die Vokale ö und ü haben mit u im Bereich von 2800 Hz und 3500-4900 Hz gemeinsame Flächen,hierfür sind die Gruppen 1 von ö und ü verantwortlich.Siehe Abb. 22 und Abb. 25.

Vergleich Vokal ä

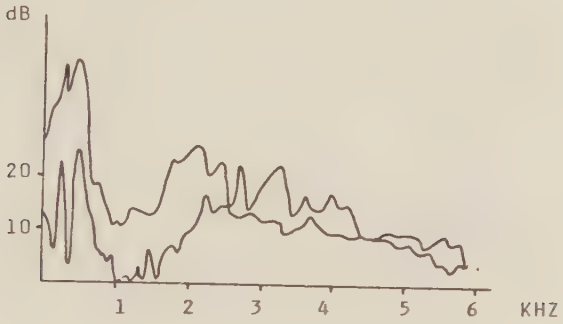

Abb. 52 Vergleich ä mit ö

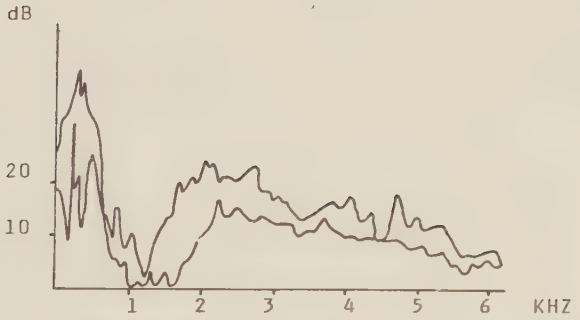

Abb. 53 Vergleich ä mit ü

3.2.6. Ergebnis Vokal ä

Vokal ä hat mit ö im Bereich von 1000-2500 Hz eine relativ große gemeinsame Fläche, für die alle Gruppen von ä und ö verantwortlich sind, während von 2500- 6000 Hz besonders die Gruppe 1 von ä Abb. 19 ihren Beitrag zum Schnitt leistet.Fast das Gleiche gilt für ü ,nur sind hier die Gruppen 1 von ä und 2 von ü Abb. 26 gleichermaßen beteiligt.

Vergleich Vokal ö

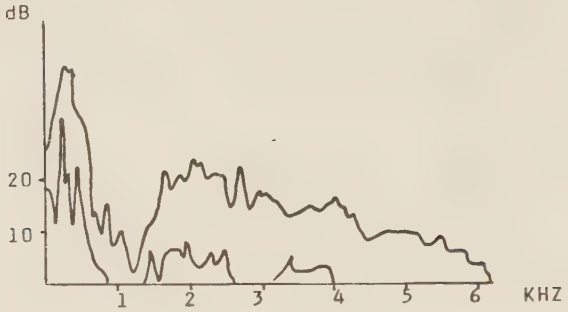

Abb. 54 Vergleich ö mit ü

3.2.7.Ergebnis Vokal ö

Die Vokale ö und ü haben sehr ähnliche Flächen, deshalb können sie leicht verwechselt werden.

3.3. Unterscheidbarkeit der Vokale mit Hilfe des Rechners

Es gilt das bereits am Anfang des Kapitels Gesagte. Die einzelnen Werte sind in Tabelle 1 aufgeführt. Vergleicht man a mit den anderen Vokalen, so sind hier von allen Gruppierungen die höchsten Werte zu beobachten(als Höchstwert überhaupt a verglichen mit u 127,8). Dies zeigt, daß a am wenigsten mit anderen Vokalen verwechselt werden kann. Relativ hohe Werte erreichen o und ä, sowie u und ä. Niedrige Werte haben e verglichen mit i, ä;und o mit u, ö, ü sowie u mit ü und ö (Der niedrigste Wert überhaupt ist o verglichen mit u 5,273).Diese Vokale können also schlecht voneinander unterschieden werden.
Dies soll nun mit den Ergebnissen von Schanz 1980 verglichen werden. In dieser Arbeit wurde unter anderem die Verwechselbarkeit von Vokalen untersucht, die in verschiedenen Kombinationen den Probanden angeboten wurden. Tabelle 2 zeigt die Ergebnisse.

Die Zahlen geben in Prozent wieder, wie oft die Vokale voneinander unterschieden werden konnten. Auch hier zeigte sich, daß a mit den anderen Vokalen am wenigsten verwechselt werden kann.(beste Paarung a mit ö 100 %) .Am häufigsten wurde ö mit ü verwechselt. In Abb. 55 sind die Werte zum Vergleich graphisch gegeneinander aufgetragen. Dabei wurden meine Werte auf 100 normiert.

	a	e	i	o	u	ä	ö	ü
a		104,9	109,7	122,9	127,8	104,5	92,94	103,1
e-			20,57	57,36	60,35	20,75	47,80	41,37
i				50,02	48,39	39,84	53,66	43,06
o					5,273	75,29	32,58	25,13
u						80,24	36,69	25,96
ä							51,43	54,86
ö								12,22

Tabelle 1:rechnerische Ergebnisse beim Vergleich der Vokale

	a	e	i	o	u	ä	ö	ü
a		90,25	84,75	99,50	95,50	93,50	100,0	97,00
e			64,50	87,25	82,25	65,25	82,25	75,50
i				80,25	93,75	82,50	77,50	72,25
o					65,50	88,75	94,00	74,25
u						77,25	90,50	92,25
ä							80,75	80,50
ö								49,00

Tabelle 2: prozentuale Häufigkeit der Übereinstimmung beim Vergleich der Vokale nach Schanz.

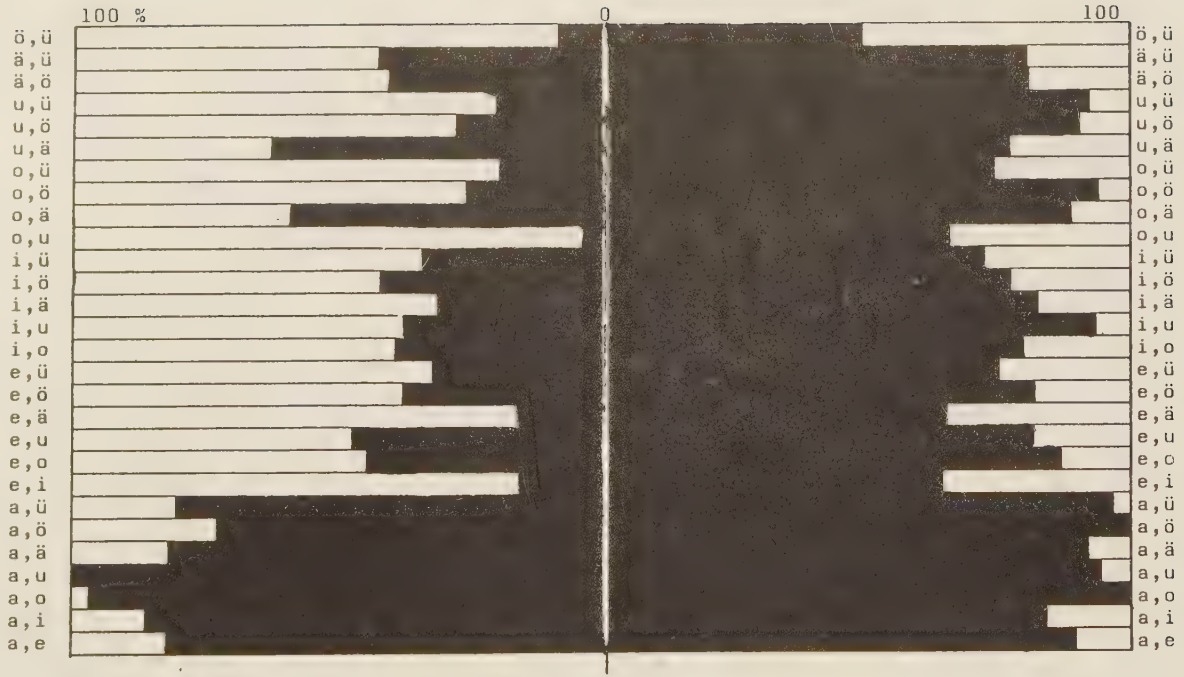

Abb.55

Summe der Differenzen

Prozentuale Verteilung des Vokalvergleiches nach Schanz

4. Diskussion

4.1. Artikulation der Vokale

Beim Vergleich der einzelnen Altersgruppen hat es sich gezeigt, daß Kinder und ältere Menschen am schlechtesten artikulieren, das heißt, daß die Streuungen hier am größten sind. Dies ist bei älteren Menschen keineswegs verwunderlich,denn der Stimmumfang nimmt im Alter ab. Die Stimmstärke und die Ausdauer lassen nach. Die geringere Vitalkapazität hat zur Folge, daß die Atmung entsprechend schwächer ausfällt. Die Stimme wird oft rauh und zittrig. Dies ist die Folge der Steifigkeit der Kehlkopfgelenke, der zunehmenden Verkalkung der Knorpel und der Hypotonie der Muskeln.
Auch das neuromuskuläre System spielt hierbei eine Rolle. (Luchsinger 1970)
Bei den Kindern (Gruppe O 9-12 Jahre) spielt neben den hier vorhandenen anatomischen und neuromuskulären Gegebenheiten bei manchen auch die eventuell beginnende Pubertät eine Rolle. Die Mehrzahl der Kinder verfügt vor der Pubertät über einen Stimmumfang von etwa 1,5 Oktaven. (Luchsinger 1970) Es war auch festzustellen,daß bei vielen Kindern beim Halten des Grundtones größere Schwankungen auftraten.
Die geringsten Streuungen wiesen die Vokale a, o, u, ä auf, wenn sie von der Gruppe 1 gesprochen wurden.

4.2. Lage der Formanten

In allen Fällen kann F 1 festgelegt werden. Bei Vokalen, bei denen F 1 und F 2 eng nebeneinander liegen, dies sind a, o, u, sind sie schwierig auseinanderzuhalten. Chiba 1941 faßt diese Bereiche zu einem einzigen Formanten zusammen. Damit wäre bei diesen Vokalen der erste Formant eindeutig bestimmt.

Für die höheren Formanten F3, F4 sind Einschränkungen zu machen. So sind sie bei o und u nicht oder nur in sehr geringer Stärke vorhanden. Bei anderen Vokalen, z. B. i der Gruppe O, kommt noch ein breiter Frequenzbereich in Frage, in dem sie liegen könnten. Dies kann daher rühren, daß bei Kindern der Formantbereich im Mittel um 25% höher liegt als bei Erwachsenen. Auch der Grundtonbereich liegt hier höher.(Fant 1970) Es ist auch möglich, daß bei dieser Auswertungstechnik noch höhere Formanten auftreten. Diese mögen für die einzelnen Vokale charakteristisch sein. Sie liegen hauptsächlich in den höheren Frequenzbereichen. Da bei der Auswertung Mittelwerte aufgeführt sind und die individuelle Streubreite sehr groß ist, entziehen sie sich einer genaueren Beurteilung. Bei der Auswertung wurde auch nicht nach dem Geschlecht getrennt. Es seien die Untersuchungen von Chiba 1958 genannt. Hier wurde mit Hilfe von Röntgenaufnahmen, sogenannten Palatogrammen, die Mundhöhle ausgemessen. Dabei konnte gezeigt werden, daß diese sich bei einer Frau von 20 Jahren, bei einem Jungen von 10 Jahren und bei einem Mädchen von 8 Jahren wie 0,87 : 0,80 : 0,70 verhält, im Gegensatz zu einem erwachsenen Mann von 26 Jahren. Deshalb sind hier die Formantfrequenzen höher. Andererseits wurden die Vokale, die von einem Kind gesprochen wurden, durch Erniedrigung der Abspielgeschwindigkeit des Bandes, denen eines Erwachsenen ähnlich. Zieht man dies alles in Betracht, so kann man eventuell den Formanten bei diesem Versuch eine größere Bandbreite geben.

4.3. Vergleich der Vokale

Bei der Untersuchung zur Verwechselbarkeit der Vokale sind im Vergleich zu Schanz doch einige Unterschiede aufgetreten. Man muß hier aber anführen, daß Schanz seine Versuchspersonen nur aus der Altersgruppe von ca. 17-25 Jährigen ausgewählt hat. So hat er keine Aussagen über Kinder machen können. Diese haben aber noch Schwierigkeiten, ihre Aussprache mit dem Gehör genau zu kontrollieren. Betrachtet man nun aber die teilweise signifikanten Unterschiede in Artikulation und Lage der Formanten bei den verschiedenen Altersgruppen, so sind die differierenden Ergebnisse nicht weiter erstaunlich. In beiden Versuchen wurde Vokal a am wenigsten mit den anderen Vokalen verwechselt. Dies ist schon seit langem bekannt. (Sauberschwarz 1895) Die Vokale e, i, ä, ö, ü werden leicht miteinander verwechselt, dagegen fast nie a mit o oder u. Die Vokale o und u werden dagegen sehr leicht miteinander verwechselt. Da die Vokale von ihren Formanten bestimmt werden, wurden schon früh Versuche unternommen, eine Möglichkeit zu finden, sie zu unterscheiden. Sauberschwarz 1895 schnitt gewisse Frequenzbereiche ab und beobachtete dann den Übergang von einem Vokal in den anderen.
Nach Karnickaya 1975 tragen die beiden niedrigsten Formanten die meiste Information über einen Vokal.Deshalb wollen wir uns vorerst auf diese beschränken. Wichtig zum Verständnis sind hier Experimente mit synthetischen Vokalen. Sind zum Beispiel der Grundton und F1 bei 150 bzw. 300 Hz fixiert, so erscheint ein o-u, wenn F2 nur mit geringer Lautstärke erscheint. Bei wachsender Lautstärke in Abhängigkeit von der Frequenz von F2 klingen die Vokale dann wie e, i, ö oder ü.
Muschnikov 1971 zeigte,daß bei einem 2-Formanten-Vokal mit F2 größer 1700 Hz als i erscheint,

wenn F1 kleiner 400 Hz ist und als e oder a erscheint, wenn F1 größer 400 Hz ist. Ähnliches wurde auch mit einem 3-Formant-Stimulus gemacht. Der Grundton und F1 sind wie eben beschrieben. F2 wurde bei 1600 Hz festgelegt, F3 bei 3000 Hz. Drei verschiedene Lautstärken für F3 ,die sich um 10 dB unterschieden,wurden erzeugt. War die Lautstärke von F2 gering, so klang der Laut als i; wurde die Lautstärke von F2 erhöht, so ging i in ü über. Dies läßt schließen,daß in diesem Fall die Lautstärke von F2 wichtiger als die von F3 ist. Muschnikov 1971 legte die Grenzen in der F1 ,F2-Ebene für die russischen Vokale i,e,o und a fest und zeigte,daß diese Grenzen nicht wesentlich durch F3 und F4 beeinflußt wurden.
Nun ist es noch wichtig,die Grundtonbereiche zu betrachten. Bei Männern liegt der Grundton durchschnittlich bei 100- 240 Hz; bei Frauen ist er um 1 Oktave höher, die Formantfrequenzen sind aber nur um 17% erhöht. Bei Kindern um 10 Jahre sind die Formantfrequenzen um bis zu 25% erhöht und der Grundtonbereich liegt bei 300 Hz.(Fant 1970) Die Grundtonbereiche können also bei den Vokalen i, o, ö, ü nahe bei oder sogar höher als F1 liegen. Dies mag ein Grund sein, daß diese oft verwechselt werden. Für Vokal a ,der am wenigsten verwechselt wird, liegt F1 bei 600 Hz.Andererseits sind bei den Vokalen o und u, die am wenigsten mit a verwechselt werden, die Formanten F3, F4 nicht oder nur sehr wenig ausgeprägt. F1 und F2 liegen in fast den gleichen Frequenzbereichen. Dies mag ein Grund sein, daß sich o und u so ähnlich sind.Des weiteren hat a an den Stellen mit den niedrigen Hauptformanten im Vergleich mit den anderen Vokalen wenig gemeinsame Fläche, so daß dieser Vokal auch deshalb so gut unterschieden werden kann. Die höheren Formanten können wichtig werden, wenn der Grundton erhöht wird. Ein Experiment dieser Art führte Chiba 1958 durch, der damals mit 2 Formanten arbeitete.

Hier wurde bei der Reproduktion der Vokale die Laufgeschwindigkeit des Abspielgerätes variiert.
So ging zum Beispiel e in i oder ü über, wenn die Geschwindigkeit erhöht wurde. Bei solchen Beispielen sollten die höheren Formanten genauere Aussagen machen können.

5. Zusammenfassung

120 Versuchspersonen, die in 6 Gruppen mit jeweils gleicher Personenzahl nach Alter und Geschlecht eingeteilt wurden, kamen zur Auswertung. Die Vokale a, e, i, o, u, ä, ö, ü wurden mittels schneller Fouriertransformation analysiert. Es wurde die Artikulationsfähigkeit der verschiedenen Altersgruppen untersucht. Dabei konnte festgestellt werden, daß die Gruppe der Erwachsenen bis zu 50 Jahre am besten artikulierte, während Kinder und Erwachsene über 50 Jahre schlechter abschnitten.
Es wurde sodann die Lage der Formanten festgelegt und mit Literaturergebnissen verglichen. Diese korrelierten gut für die niedrigen Formanten, wobei wiederum die Altersgruppe bis 50 Jahre die besten Werte zeigte.
Des weiteren wurde untersucht , inwieweit und warum Vokale verwechselt werden können und vor allem bei welchen Vokalen dies am häufigsten der Fall ist. Die Ergebnisse der Untersuchung stehen im wesentlichen im Einklang mit anderen experimentellen Arbeiten.

6. Anhang

Hier werden die einzelnen Vokale in Einzelabbildungen gezeigt, dabei wird nach folgendem Schlüssel verfahren:

Ziffer 1		Ziffer 2	Ziffer 3
a	0	männ. 0	bis 12 J. 0
e	1	weib. 1	bis 50 J. 1
i	2		ab 50 J. 2
o	3		
u	4		
ä	5		
ö	6		
ü	7		

Beispiel: Mann 20 Jahre Vokal a, 001

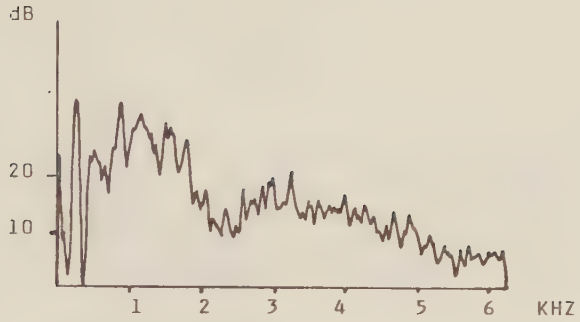

Abb. AaO Gruppe 000

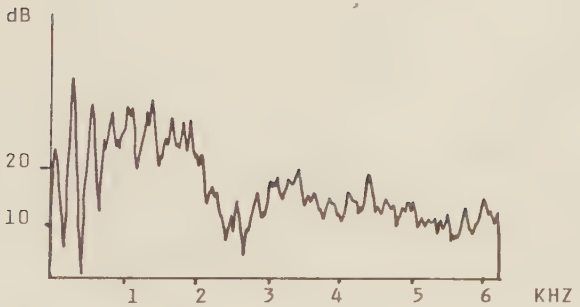

Abb. A b O Gruppe 010

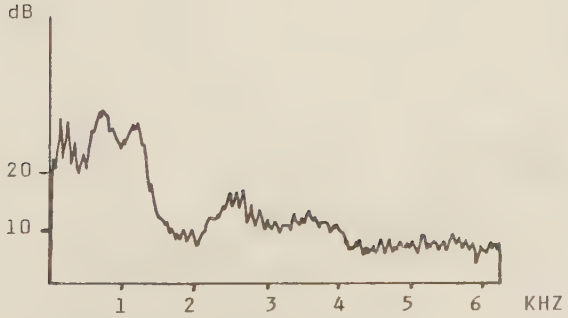

Abb. A c O Gruppe 001

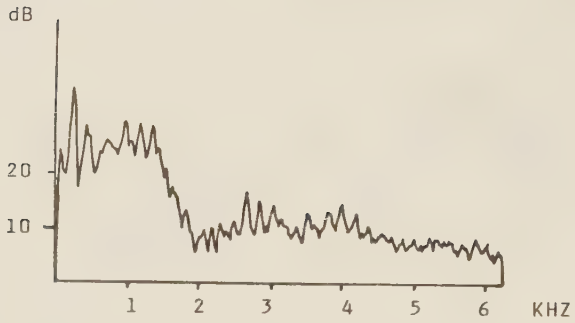

Abb. A d O Gruppe 011

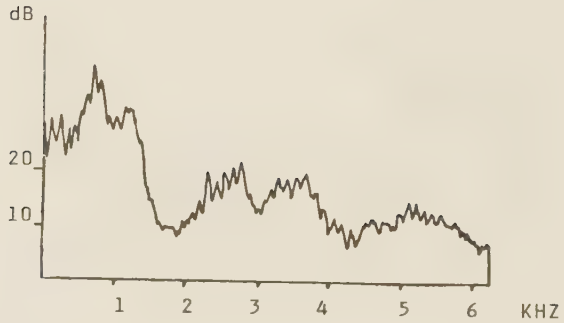

Abb. A e O Gruppe 002

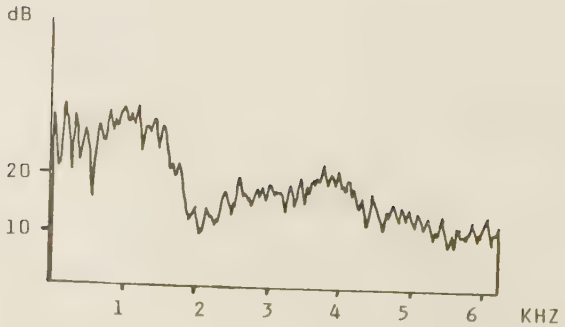

Abb. A f = Gruppe 012

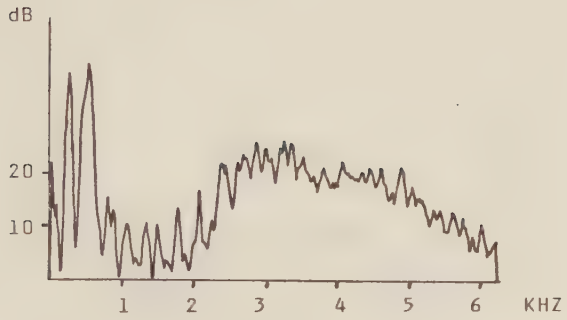

Abb. A a 1 Gruppe 100

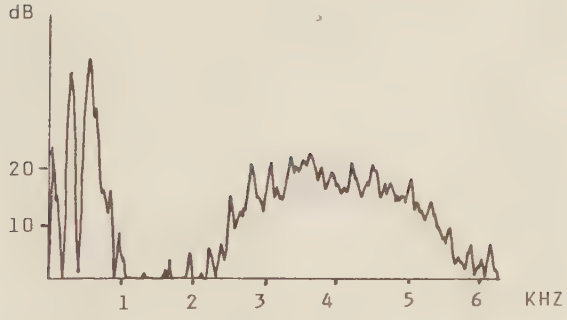

Abb. A b 1 Gruppe 110

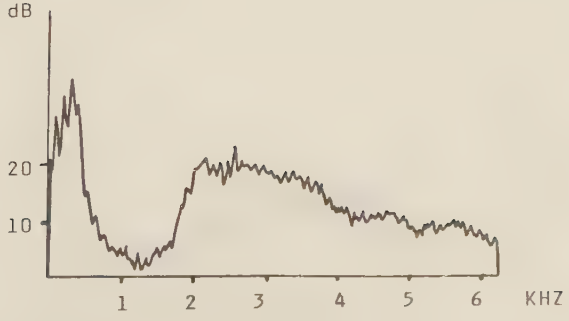

Abb. A c 1 Gruppe 101

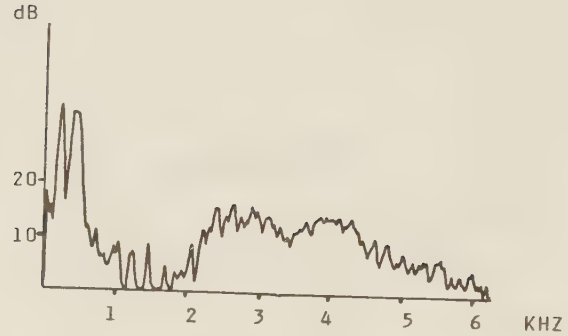

Abb. A d 1 Gruppe 111

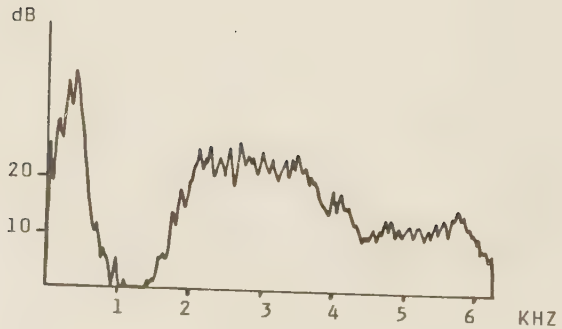

Abb. A e 1 Gruppe 102

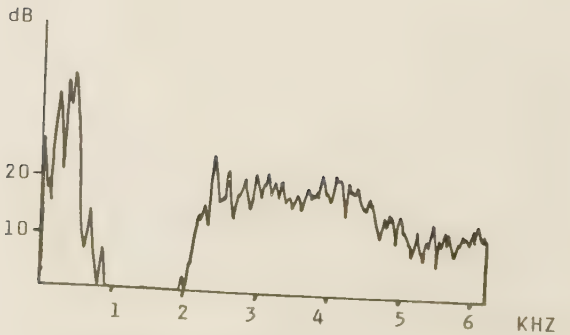

Abb. A f 1 Gruppe 112

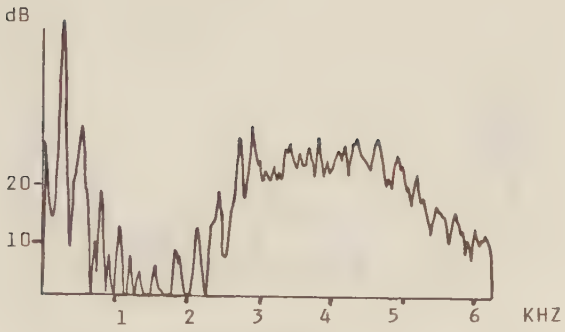

Abb A a 2 Gruppe 200

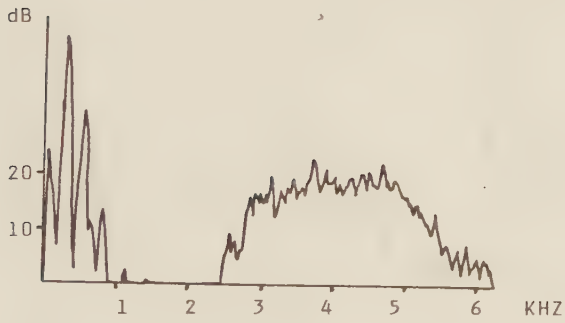

Abb. A b 2 Gruppe 210

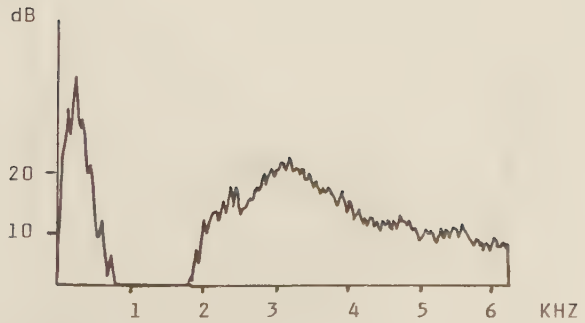

Abb. A c 2 Gruppe 201

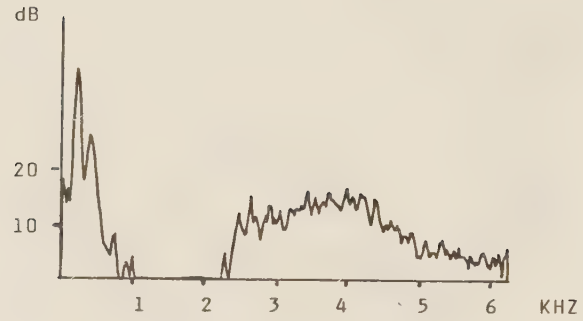

Abb. A d 2 Gruppe 211

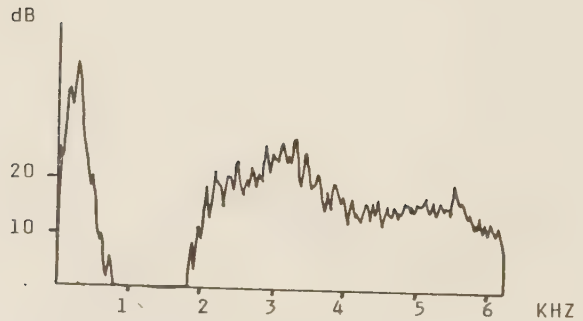

Abb. A e 2 Gruppe 202

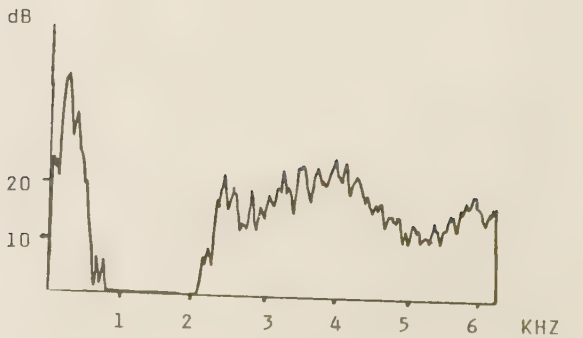

Abb. A f 2 Gruppe 212

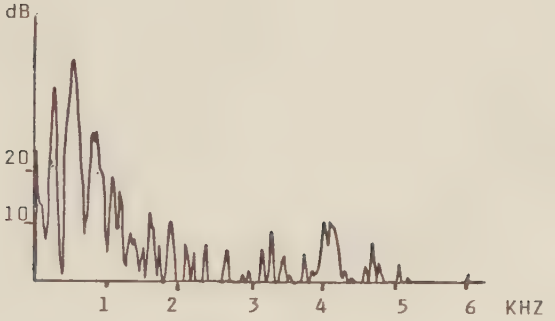

Abb. A a 3 Gruppe 300

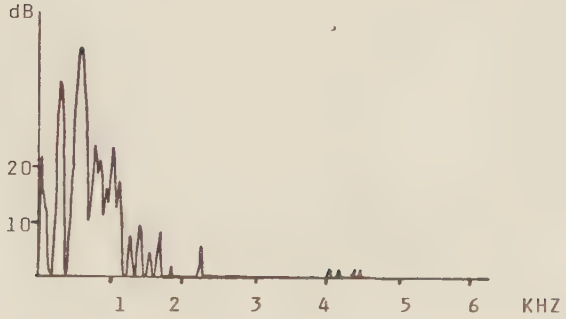

Abb. A b 3 Gruppe 310

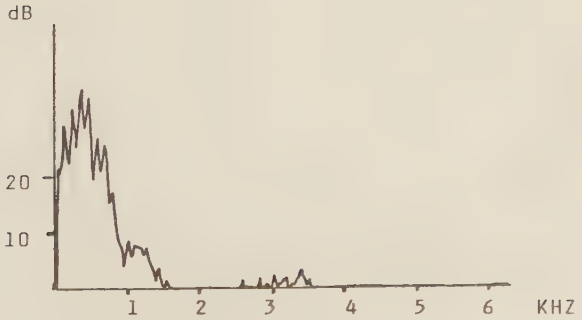

Abb. A c 3 Gruppe 301

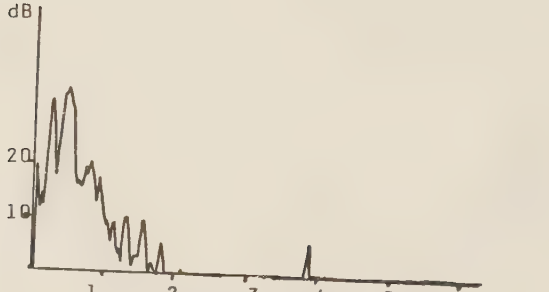

Abb. A d 3 Gruppe 311

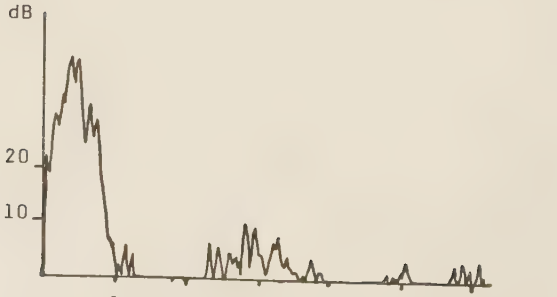

Abb. A e 3 Gruppe 302

Abb. A f 3 Gruppe 312

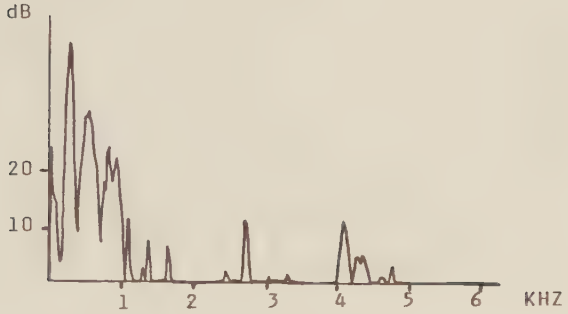

Abb A a 4 Gruppe 400

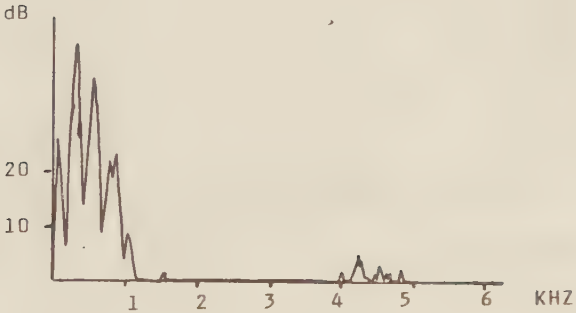

Abb. A b 4 Gruppe 410

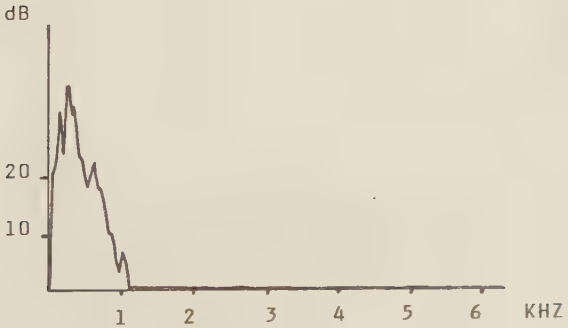

Abb. A c 4 Gruppe 401

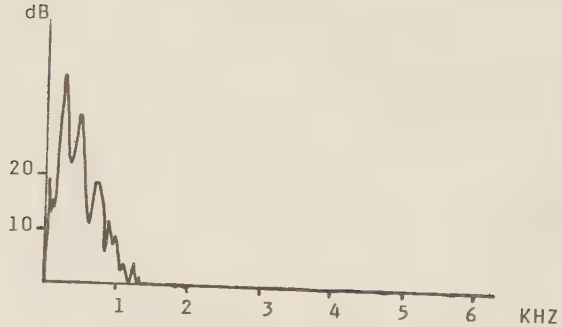

Abb. A d 4 Gruppe 411

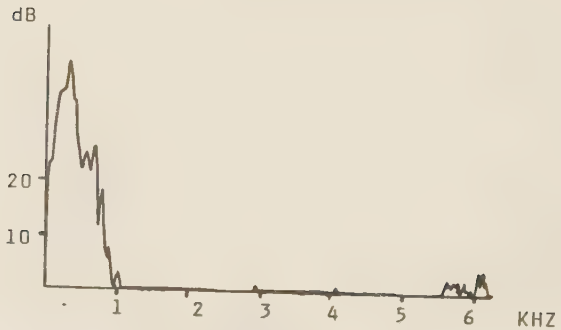

Abb. A e 4 Gruppe 402

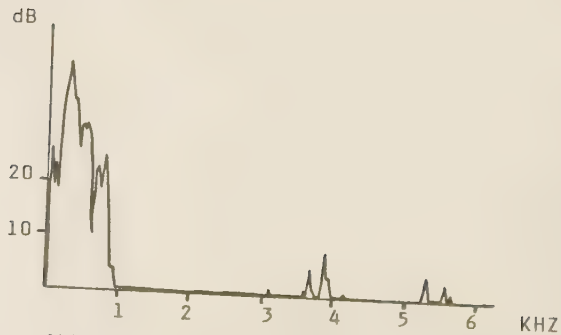

Abb. A f 4 Gruppe 412

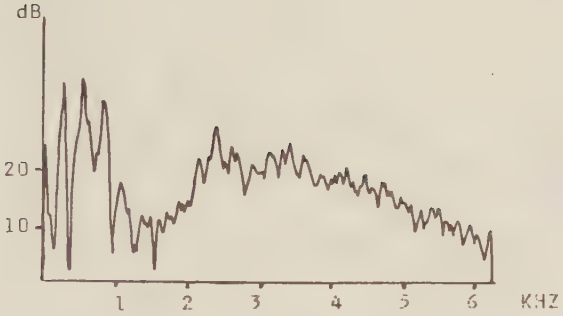

Abb. A a 5 Gruppe 500

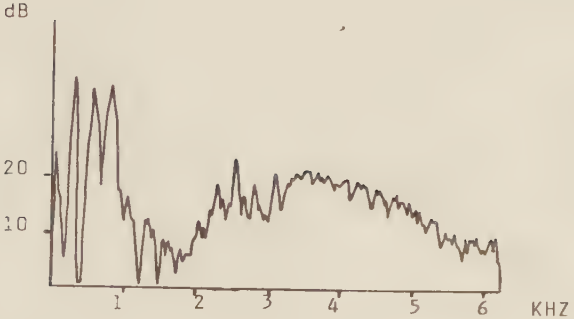

Abb. A b 5 Gruppe 510

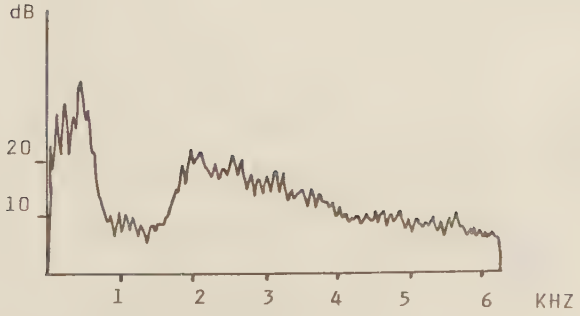

Abb. A c 5 Gruppe 501

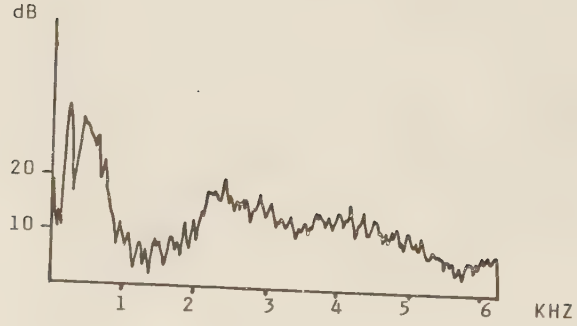

Abb. A d 5 Gruppe 511

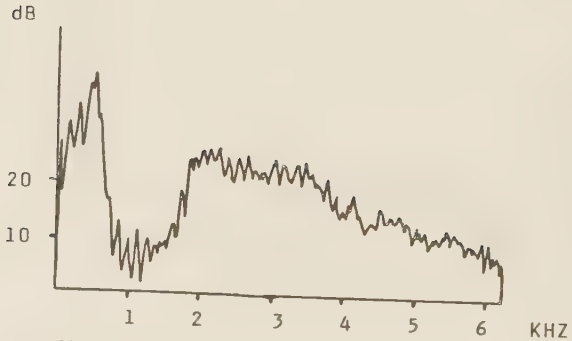

Abb. A e 5 Gruppe 502

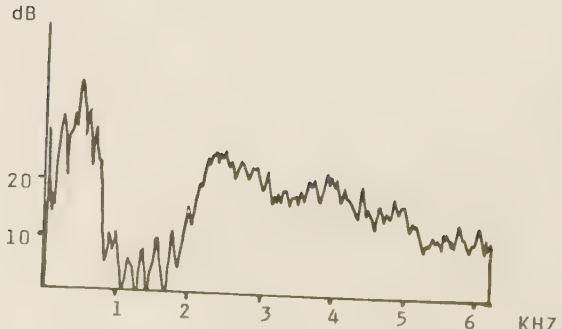

Abb. A f 5 Gruppe 512

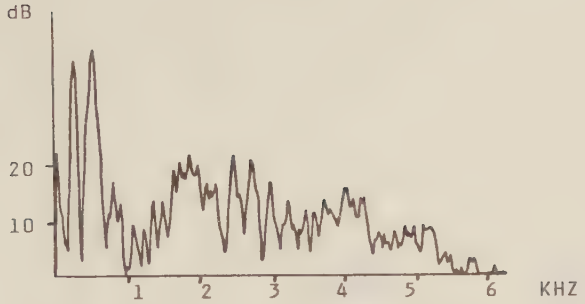

Abb. A a 6 Gruppe 600

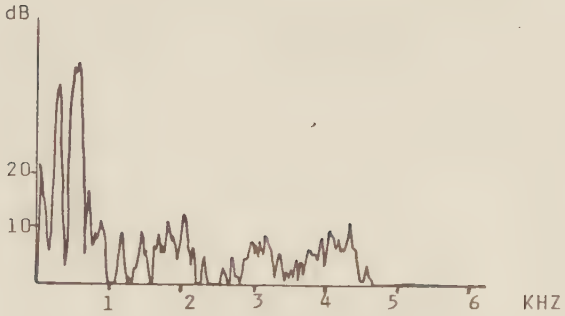

Abb. A b 6 Gruppe 610

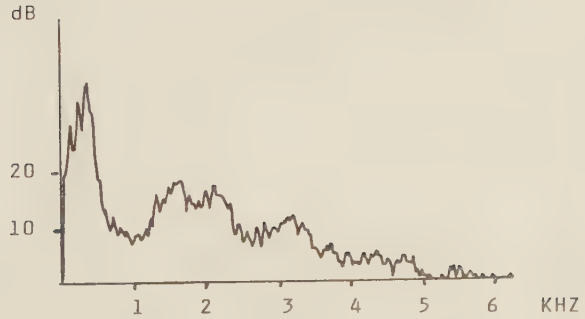

Abb. A c 6 Gruppe 601

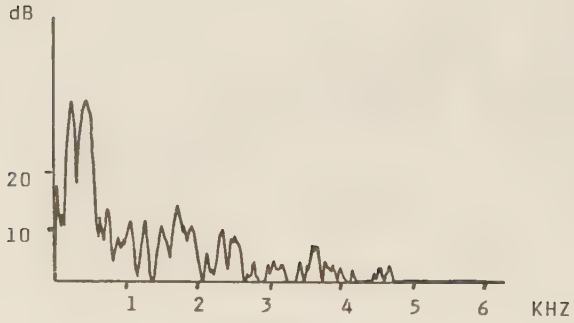

Abb. A d 6 Gruppe 611

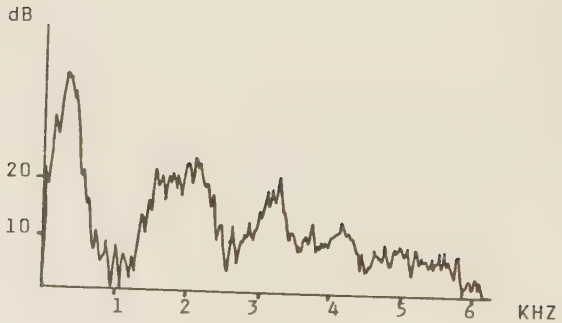

Abb. A e 6 Gruppe 602

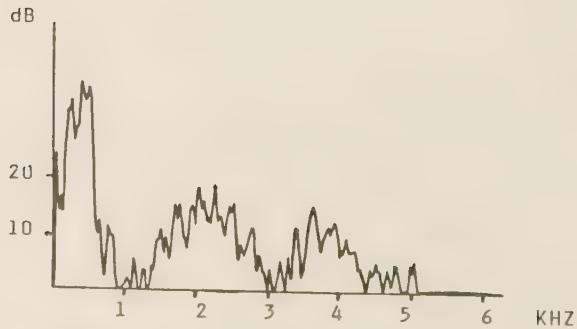

Abb. A f 6 Gruppe 612

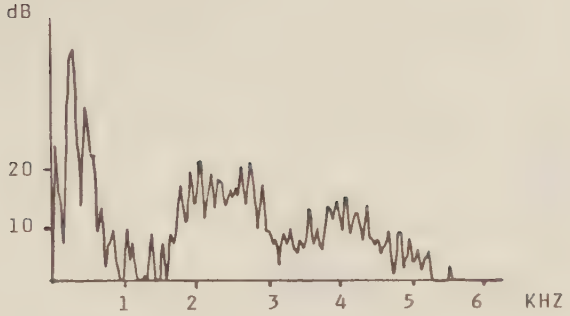

Abb. A a 7 Gruppe 700

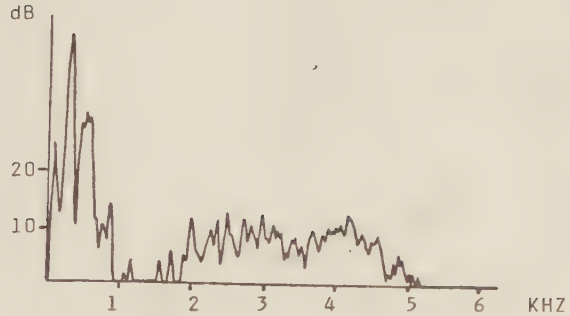

Abb. A b 7 Gruppe 710

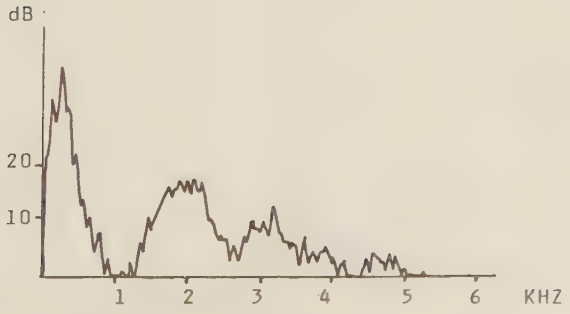

Abb. A c 7 Gruppe 701

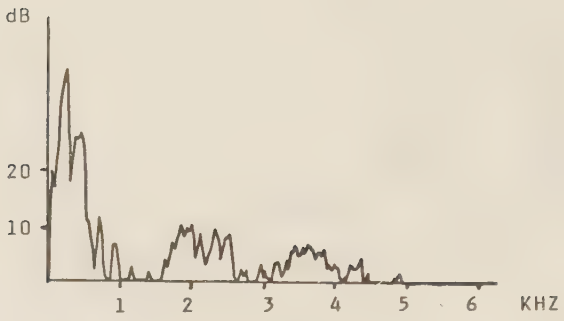

Abb. A d 7 Gruppe 711

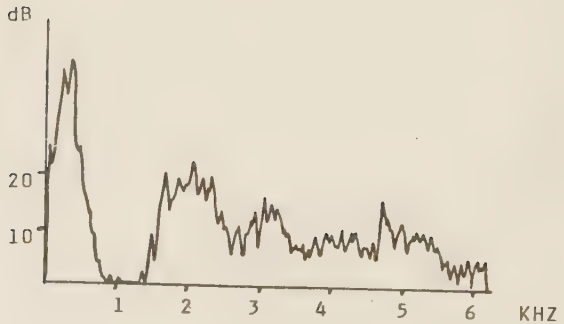

Abb. A e 7 Gruppe 702

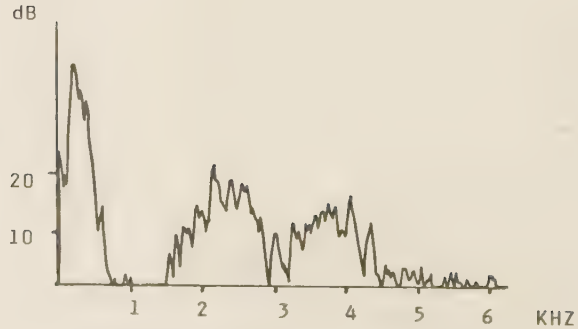

Abb. A f 7 Gruppe 712

7. Literaturverzeichnis

Chiba T., Kajiyama M. — The Vowel its Nature and Strukture. Phonetic Society of Japan, Setagaya, Tokyo (1941, 1958)

Delattre P. C. — The physiological interpretation of sound spectrograms. Publications of the Modern Language Association of America LXVI, 864-875 (1951)

Dodart A. — Sur les causes de la voix de l´homme et de ses différents tons. Histoire de L´academie royale des sciences et des arts Paris (1703)

Fant G. — Acoustic Theory of Speech Production. Mouton, s´Gravenhage (1958, 1970)

Fant G., Carlson R., Granström B. — Two-formant Models, Pitch and Vowel Perception . Auditory Analysis and Perception of Speech, Hrsg. von Fant G., Tatham M.A.A. 57-82, Academic Press London (1975)

Ferrein A. — De la formation de la voix de l´homme. Bertin, Paris (1741)

Flanagan J.L. — Speech Analysis,Synthesis and Perception. Springer, Berlin (1972)

Freystedt E. — Das Tonfrequenzspektrometer ein Frequenzanalysator mit äußerst hoher Analysiergeschwindigkeit und unmittelbar sichtbarem Spektrum. Siemens AG, Berlin (1935)

Helmholtz H.v. — Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik. Vieweg, Braunschweig (1862)

Hellwag C.F. — De formatione loquelae Dissertation ,Tübingen (1781)

Hermann L. — Phonophotographische Untersuchungen. Pflügers Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Tiere, Band 47 44-53 und 347-391 Bonn (1890)

Hermann L. — Weitere Untersuchungen über das Wesen der Vokale. Pflügers Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Tiere Band 61, 169-204, Bonn (1895)

Hermann L. — Neue Beiträge von den Vokalen und ihrer Entstehung. Pflügers Archiv für die gesammte Physiologie des Menschen und der Tiere, Band 141, 1-62, Bonn (1911)

Karnikaya E.G., Mushnikov V.N, Slepkurova N.A., Zhukov S. J. — Auditory Processing of Steady-state Vowels . Auditory Analysis and Perception of Speech, Hrsg.von Fant G., Tatham M.A.A. 37-53, Academic Press London (1975)

Kempelen W.v. — Mechanismus der menschlichen Sprache nebst der Beschreibung einer sprechenden Maschine. Faksimile Nachdruck der Ausgabe Wien 1791, F. Fromann Verlag , Stuttgart (1970)

Lenneberg E.H. — Biological Foundation of Language. New York, Wiley (1967)

Luchsinger R., Arnold G.E. — Handbuch der Stimm und Sprachheilkunde. 3. Auflage, Springer, Wien,New York (1970)

Lullies H. — Hören, Stimme, Gleichgewicht. Sinnesphysiologie II, Physiologie des Menschen Band 12, Urban und Schwarzenberg, München, Berlin, Wien (1972)

Malmberg B. — Einführung in die Phonetik als Wissenschaft. Internationale Bibliothek für allgemeine Linguistik Band 38, Fink, München (1976)

Mushnikov V.N. Chistovich L.A. — A study of the role of vowel components loudness in vowel recognation. Akusticheskij Zhurnal 17, 405-411, Leningrad (1971)

Panconcelli- Calzia G. — 3000 Jahre Stimmforschung. Elwert, Marburg (1961)

Potter R.K., Kopp G.A., Green H.C. — Visible Speech. D. van Nostrand Company Inc., New York (1947)

Sauberschwarz E. — Interfrequenzversuche mit Vokalklängen. Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie des Menschen und der Tiere, Band 61, 1-31, Bonn (1895)

Schanz E.F. — Dichotisches Hören von Vokalen. Dissertation, Tübingen (1980)

Schmitt R.F., Thews G. — Physiologie des Menschen. Springer,Berlin, Heidelberg, New York (1977)

Trendelenburg F. — Klänge und Geräusche. Springer, Berlin (1935)

Trendelenburg F. Einführung in die Akustik. Springer, Berlin, Göttingen, Heidelberg (1950)

Ungeheuer G. Elemente einer akustischen Theorie der Vokalartikulationen. Springer, Berlin, Göttingen, Heidelberg (1962)

Wallis J. Grammatica linguae anglicanae. Lichfield, Oxford (1653)

Wängler H.H. Atlas deutscher Sprachlaute. Akademie- Verlag Berlin (1958)

Wheatstone C. The London and Westminster Review. 27 ff (1838)

Willis W. On vowel sounds and reed organ. Trans. Camb. Phil. Soc. III 231 ff, 1830 dt. Übers.: Über Vokaltöne und Zungenpfeifen. Ann. Phys. ,397-437 (1832)

Mit besonderem Dank gedenke ich dem inzwischen verstorbenen Herrn Professor Dr. H. Breuninger, der mir das Thema überließ und mich bei der Durchführung meiner Doktorarbeit freundlich unterstützte.

Weiterhin danke ich Herrn Sesterhenn, Diplomingenieur an der HNO-Klinik Tübingen, für seine große Hilfe bei der Herstellung der Frequenzspektren und deren Auswertung und seine freundliche Beratung.

Lebenslauf

Name: Harald Jooß-Weiß geb. Jooß
Geburtstag,-ort: 16.12.1950,in Urspring,Kreis Ulm
Eltern: Hans Jooß und Angelika Jooß,geb. Köpf
Heirat: 9.2.79 in Tübingen
Schulbildung: Grundschule Ulm 1957
Kepler- Gymnasium Ulm ab 1961
dort Abitur Juni 1971
Studium: Ab Oktober 1971 an der Eberhard-Karls-Universität
im Fach Physik
ab April 73 Mathematik, ab April 74 Biologie
Zwischenprüfung in Mathematik und Biologie
Oktober 75
Staatsexamen Biologie April 1979,
Oktober 77 Aufnahme des Medizinstudiums in Ulm,
Wechsel zum Sommersemester 79 nach Tübingen.
Hier Staatsexamen am 13.4.1984.

Druck Köhler Tübingen